

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Elétrica

**Acidentes em meios aquáticos provocados por
descargas atmosféricas e por instalações elétricas:**
um estudo exploratório

Carlos Cezar Guazzelli Santos

BRASÍLIA, DF
2018

Carlos Cezar Guazzelli Santos

**Acidentes em meios aquáticos provocados por descargas
atmosféricas e por instalações elétricas:
um estudo exploratório**

Monografia submetida ao curso de
graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade de Brasília, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alcides Leandro da
Silva

BRASÍLIA, DF

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

S233a

Santos, Carlos Cezar Guazzelli

Estudo exploratório: Acidentes em meios aquáticos provocados por descargas atmosféricas e por instalações elétricas / Carlos Cezar Guazzelli – Brasília, DF 2018.

81 p.

Trabalho de conclusão de curso – Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica. Brasília, 2018.

Orientador Dr. Prof. Alcides Leandro da Silva

1. Acidentes

2. Meio aquático

3. Descargas atmosféricas 4. Instalações elétricas

I. ENE/FT/UNB

II. Título

CDU- 621.3

REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA

Santos, Carlos Cezar (2018) Estudo exploratório: Acidentes em meios aquáticos provocados por descargas atmosféricas e por instalações elétricas [Distrito Federal] 2018.

Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 81p

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Carlos Cezar Guazzelli Santos

TÍTULO DA MONOGRAFIA: Acidentes em meios aquáticos provocados por descargas atmosféricas e por instalações elétricas: um estudo exploratório.

GRAU/ANO: Engenheiro Eletricista / 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Carlos Cezar Guazzelli Santos

Aos 5 bloco C apartamento 601

706600-053 Cruzeiro – Brasília,DF - Brasil

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

**ACIDENTES EM MEIOS AQUÁTICOS PROVOCADOS POR
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS E POR INSTALAÇÕES ELÉTRICAS:
UM ESTUDO EXPLORATÓRIO**

Carlos Cezar Guazzelli Santos

Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva, UnB

Orientador

Prof. Dr. Plínio Ricardo Ganime Alves, UnB

Membro Convidado

Prof. Dr. João Paulo Leite, UnB

Membro Convidado

Brasília, DF

Abril, 2018

DEDICATÓRIA

Aos meus pais que me educaram e me deram todo o amor que um filho poderia querer, especialmente minha mãe, que sempre esteve presente em todos os momentos, e à minha namorada que sempre me dá suporte nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Prof. Dr. Alcides Leandro da Silva. Por todo o processo e as dificuldades encontradas no trabalho.

Ao meu pai e minha mãe, Carlos Cezar e Juliana Guazzelli por toda a ajuda prestada e suporte nos momentos difíceis.

Aos meus amigos, pelos bons momentos que valem a pena ser vividos.

A Lucas Paganine por toda a ajuda e noites mal dormidas quando não se tinha nada a ganhar.

E a minha namorada Ana Beatriz que sempre está disposta quando mais preciso.

"Se não puder acreditar em si mesmo, acredite em mim que acredita em você"

-Kamina

RESUMO

Este trabalho trata de um estudo exploratório sobre os acidentes em meios aquáticos envolvendo eletricidade. O estudo é motivado pelos diversos acidentes desta natureza que acontecem por todo o mundo, cujas características sugerem que vários possam ser prevenidos.

O método do estudo exploratório consiste em uma análise generalista do assunto agrupando informações dos diversos fenômenos relacionados para que possa se obter um melhor entendimento do assunto como um todo.

Neste enfoque, foram estudadas as características das descargas atmosféricas, que são uma das causas dos acidentes em meios aquáticos. Foram também estudadas as características físicas e distribuição geográfica, vendo suas classificações e como se forma a descarga.

Os diferentes tipos de meios aquáticos e as suas diferentes propriedades elétricas são evidenciados. Juntamente com as dos meios aquáticos, exploramos os efeitos da corrente elétrica sobre o corpo humano, os tipos de ferimentos que ela causa e os efeitos em função da duração e intensidade.

Com o entendimento dos conceitos necessários, partiu-se para o estudo dos acidentes propriamente ditos, ressaltando os tipos de acidentes, em quais meios eles ocorrem, que tipos de lesões causam e quais são as medidas preventivas cabíveis em cada caso.

Finalmente uma, a ultima seção apresenta uma coleção de notícias com comentários sobre diversos casos de acidentes, evidenciando como eles acontecem na pratica e quais os principais fatores de risco.

Palavras-chave: Acidentes. Meio aquático. Descargas atmosféricas. Instalações elétricas.

ABSTRACT

This work carries out an exploratory study on the accidents in aquatic environments involving electricity. Motivated mainly by the many accidents of this nature that occur all over the world when most of them could have been avoided.

The exploratory study consists in a generalist analysis of the subject by grouping information from the various related phenomena to obtain a better understanding of the subject as a whole.

Next, we study the characteristics of the atmospheric discharges, one of the causes of this type of accident. We explore their physical characteristics and geographical distribution, perceiving the types of lightning bolts and how they form the leaders that allow the large current discharge.

Then, we see the different types of aquatic environments, classifying them and describing their different electrical properties and other relevant characteristics. After the characteristics of the ambient, we explore the effects of the electric current on the human body. We see which types of injuries it causes besides its effects that depend on the duration and intensity.

Understanding the necessary concepts, we set out to study the accidents themselves: the types of accidents, in what ways they occur, what types of injuries they cause, and what preventive measures are appropriate in each case.

Finally, the last section presents a collection of news with comments on various cases of these types of accidents to see how they happen in practice and the main risk factors.

Key-words: Accidents. Aquatic environment. Atmospheric discharges. Electrical instalations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O experimento da pipa de Benjamin Franklin.....	5
Figura 2: Descarga atmosférica com ramificações.....	6
Figura 3: Tipos de raios.....	7
Figura 4: Incidência de raios pelo globo.....	9
Figura 5: Descarga se propagando pela superfície da água.....	10
Figura 6: Fator de conversão de condutividade para TDS e valores típicos.....	16
Figura 7: Penetração de campo elétrico na frequência de 60Hz na água doce	18
Figura 8: Penetração de campo elétrico na frequência de 1MHz na água doce	18
Figura 9: Penetração de campo elétrico na frequência de 10MHz na água doce	19
Figura 10: Penetração de campo elétrico na frequência de 60Hz na água salgada	19
Figura 11: Penetração de campo elétrico na frequência de 1MHz na água salgada.....	20
Figura 12: Penetração de campo elétrico na frequência de 10MHz na água salgada.....	20
Figura 13: Efeitos de uma corrente pela sua intensidade e duração.....	28
Figura 14: Representação de um gradiente de tensão na água proveniente de uma falha em uma embarcação.....	32
Figura 15: Sistema elétrico intacto.....	33
Figura 16: Falta elétrica com aterramento funcional.....	33
Figura 17: Falta elétrica com falha no aterramento.....	34
Figura 18: Perigos em uma doca.....	34
Figura 19: DR na forma de disjuntor.....	37
Figura 20: DR na forma de tomada.....	37
Figura 21: Testador de receptáculo.....	38
Figura 22: Dispositivo Lifeguard.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Condutividade por tipo de água.....	14
Quadro 2: Profundidade de penetração de campo elétrico para diferentes frequências em água doce e salgada.....	21
Quadro 3: Efeitos estimados de correntes transdérmicas por vários pesquisadores.....	27
Quadro 4: Características de tipos de afogamentos.....	40

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVO.....	1
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	2
2. TIPOS DE PESQUISA E PESQUISA EXPLORATÓRIA: CONCEITOS.....	3
3. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	4
3.1 HISTÓRIA.....	4
3.2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
3.3 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NA ÁGUA.....	8
4. MEIOS AQUÁTICOS: CONCEITOS E EXEMPLOS.....	11
4.1 O MEIO AQUÁTICO.....	11
4.2 TIPOS DE MEIOS E CARACTERÍSTICAS.....	11
4.2.1 ÁGUA DOCE.....	13
4.2.2 ÁGUA SALGADA.....	14
4.2.3 PISCINAS.....	15
4.2.3.1 PISCINAS DE ÁGUA DOCE.....	15
4.2.3.2 PISCINAS DE ÁGUA SALGADA.....	16
4.3 ANÁLISE QUANTITATIVA DO EFEITO PELICULAR.....	17
5. ACIDENTES ENVOLVENDO ELETRICIDADE EM MEIOS AQUÁTICOS.....	22
5.1 ACIDENTES COM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	22
5.1.1 EFEITOS DAS CORRENTES ELÉTRICAS SOBRE OS TECIDOS BIOLÓGICOS.....	23
5.1.1.1 QUEIMADURAS E CHOQUES ELÉTRICOS	23
5.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE CORRENTE	24
5.1.1.3 FATORES DE SUSCEPTIBILIDADE E RESISTÊNCIA CORPORAL.....	25
5.1.2 ACIDENTES ENVOLVENDO CONTATO DIRETO COM O ELETRODO.....	29
5.1.3 ACIDENTES SEM CONTATO DIRETO COM A FONTE O ELETRODO.....	30
5.1.4 MEDIDAS PREVENTIVAS E COMO PROCEDER EM CASOS DE ACIDENTE.....	36
5.1.4.1 DISPOSITIVO DIFERENCIAL RESIDUAL (DR) E OUTROS DISPOSITIVOS.....	36
5.1.4.2 COMO PRECEDER EM CASOS DE AFOGAMENTO E SUSPEITA DE CHOQUE ELÉTRICO.....	39
5.2 ACIDENTES ENVOLVENDO DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	41
6. RELATOS.....	44
6.1 ACIDENTES ENVOLVENDO CONTATO DIRETO COM O ELETRODO.....	44
6.2 ACIDENTES SEM CONTATO DIRETO COM A FONTE O ELETRODO.....	49
6.3 ACIDENTES ENVOLVENDO DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	51
6.4 ACIDENTES COM CHOQUE POR FONTE DESCONHECIDA.....	55

	XII
7. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
BILBIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	66

1. INTRODUÇÃO

Meios aquosos possuem as notáveis propriedades de facilitar e potencializar a ocorrência de choques elétricos. Aqui vamos estudar os diversos aspectos dos acidentes causados por descargas elétricas envolvendo esses meios e também os fenômenos relacionados, como descargas atmosféricas e os efeitos de descargas elétricas sobre o corpo humano.

1.1 MOTIVAÇÃO

Diversos banhistas e trabalhadores sofrem acidentes em meios aquáticos todos os anos ao redor do globo, com evidências de que grande parte destes pode ser evitada. Com o intuito de contribuir com a prevenção, é necessário entender os fenômenos que provocam esses acidentes e quais os efeitos deles sobre o corpo humano, além de saber as características dos meios onde eles se manifestam.

1.2 OBJETIVO

Sendo um estudo exploratório, o trabalho pretende explorar os diversos assuntos relacionados com o tipo de acidente em questão, explicando como acontecem e também estudando as características de cada fenômeno relacionado. Serão estudadas as descargas atmosféricas, os efeitos da passagem de correntes elétricas pelo corpo humano e as propriedades dos diferentes tipos de meios aquáticos, além dos acidentes propriamente ditos, para que se possa obter o entendimento do assunto como um todo.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Seção 1: Introdução. Esta seção expõe o tema do trabalho e explica sua estrutura.

Seção 2: Tipos de pesquisa e pesquisa exploratória: conceitos. Aqui é feita uma rápida abordagem pesquisa exploratória e quais conceitos guiam o desenvolvimento deste trabalho.

Seção 3: Descargas atmosféricas. Nesta seção estudamos diversas propriedades das descargas atmosféricas bem como o contexto histórico destes fenômenos.

Seção 4: Meios aquáticos: conceitos e exemplos. Nesta parte são expostas e estudadas os diferentes tipos de meios aquáticos e as suas diferentes características físicas.

Seção 5: Acidentes envolvendo eletricidade em meios aquáticos. Já aqui estudamos os acidentes com choques elétricos em meios aquáticos, que tipos de ferimentos eles podem causar ao corpo humano e possíveis medidas preventivas.

Seção 6: Relatos. Por fim, temos uma coleção de diversos relatos de acidentes envolvendo choques elétricos em meios aquáticos, com comentários acerca das situações.

Seção 7: Conclusão. Considerações finais.

2. TIPOS DE PESQUISA E PESQUISA EXPLORATÓRIA: CONCEITOS

Um estudo exploratório, ou pesquisa exploratória, é uma metodologia de pesquisa usada para estabelecer uma base sólida de estudo para um fenômeno ou assunto a ser estudado. Ela serve para que se tenha uma visão geral do tema a ser trabalhado, bem como para auxiliar na formulação de hipóteses e facilitar a determinação de objetivos e metas de futuros estudos sobre o assunto, como por exemplo uma pesquisa explicativa. Por ter essa natureza, é um tipo de pesquisa muito mais abrangente quando comparado a outros métodos, tentando ver o objeto de estudo sob vários ângulos, vendo os vários fatores que podem ser relevantes ou não para a pesquisa.

Em geral, a pesquisa exploratória consiste de uma pesquisa extensiva sobre o assunto. Como, pesquisa secundária, envolve levantamento bibliográfico e aquisição de dados coletados por outros pesquisadores. Pesquisas primárias, que consiste em aquisição de informação de forma direta, com entrevistas com pessoas que tenham experiência sobre o assunto, estudos de caso e de exemplos onde se possa analisar o objeto de estudo, pesquisas qualitativas formais e informais, quando aplicáveis.

Em suma, o estudo exploratório é útil quando se quer obter familiaridade com o assunto a ser estudado e quando é necessária flexibilidade nos métodos de pesquisa. Quando a teoria existente é muito genérica para se formular hipóteses e se deseja ter um melhor entendimento para que futuros estudos possam ser bem orientados. Os resultados de um estudo exploratório por si só nem sempre são suficientes para se tomar decisões sobre um assunto, mas são fundamentais para o entendimento dele como um todo(PRODANOV, 2013);(SEVERINO, 2007).

3. DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Descargas atmosféricas são um dos fenômenos da natureza que mais chamam a atenção do ser humano desde tempos imemoráveis. Por muito tempo sua natureza permaneceu um mistério para a humanidade, e serviu de fonte para o nascimento de várias lendas, mitos e figuras religiosas em culturas espalhadas por todo o globo. Mesmo hoje em dia, existem aspectos desse fenômeno que não são completamente compreendidos e, certamente, ainda existem várias descobertas a serem feitas sobre o assunto no futuro.

3.1 HISTÓRIA

A verdadeira natureza dos raios começou a ser devidamente entendida e estudada quando Benjamin Franklin tomou interesse pelo fenômeno e, em 1752, realizou seu famoso experimento com a pipa na tempestade para provar a natureza elétrica dos raios. O experimento diferiu consideravelmente de como ele é retratado. Franklin, sabendo dos perigos de eletrocussão, tomou o cuidado de ficar sobre um isolante e sob um teto para permanecer seco. A pipa também não foi atingida por um raio como é de conhecimento popular, caso contrário Franklin provavelmente teria morrido (WIKIPEDIA, [s.d.]b). Ela estava conectada por uma corda de cânhamo molhada a uma garrafa de Leiden, que é um dispositivo que permitia o armazenamento de eletricidade estática e deu origem aos capacitores (WIKIPEDIA, [s.d.]f). Nos anos que se seguiram, outros pesquisadores de fato foram eletrocutados ao tentar reproduzir a experiência de Franklin, como por exemplo o professor Georg Wilhelm Richmann na Rússia (WIKIPEDIA, [s.d.]b). A Figura 1 ilustra o experimento de Franklin.

Figura 1- O experimento da pipa de Benjamin Franklin



Fonte: ushistory.org

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

As descargas atmosféricas acontecem quando cargas elétricas dentro das nuvens produzem um campo elétrico intenso o suficiente para quebrar a rigidez dielétrica do ar, que é a maior diferença de potencial que o ar suporta antes de ser ionizado e permitir assim a passagem de corrente elétrica. Isso ocorre com o valor de campo elétrico por volta de 3 MV/m (RIGDEN, 1996). A ocorrência de uma descarga porém não é questão de simplesmente romper o dielétrico do ar. A ocorrência de líderes, que serão explicados a seguir, pode facilitar estes eventos. Além do mais, o ar não é completamente homogêneo, tendo umidade e impurezas presentes. Assim o campo elétrico necessário para a propagação destes tais líderes que formam as descargas pode ter algumas ordens de magnitude a menos que as necessárias para quebrar o dielétrico do ar (RAKOV, 2003).

O líder é um canal de ar ionizado com alta condutividade elétrica que se propaga em direção a uma região com polaridade oposta à dele. Os líderes várias vezes se separam, formando ramos como os de uma árvore. Além disso, líderes

tanto negativamente carregados quanto positivamente carregados por vezes se ramificam de maneira descontínua, um processo chamado de escalonamento. Estes são chamados de líderes escalonados (RAKOV, 2003). Esse processo é o que dá a aparência ramificada característica das descargas atmosféricas que conhecemos, como na figura 2.

Figura 2- Descarga atmosférica com ramificações



Fonte: Zavis, [s.d.].

Os líderes continuam se propagando em surtos sucessivos, parando brevemente para acumular mais íons e então propagando um ou mais líderes, que então repetirão o processo.

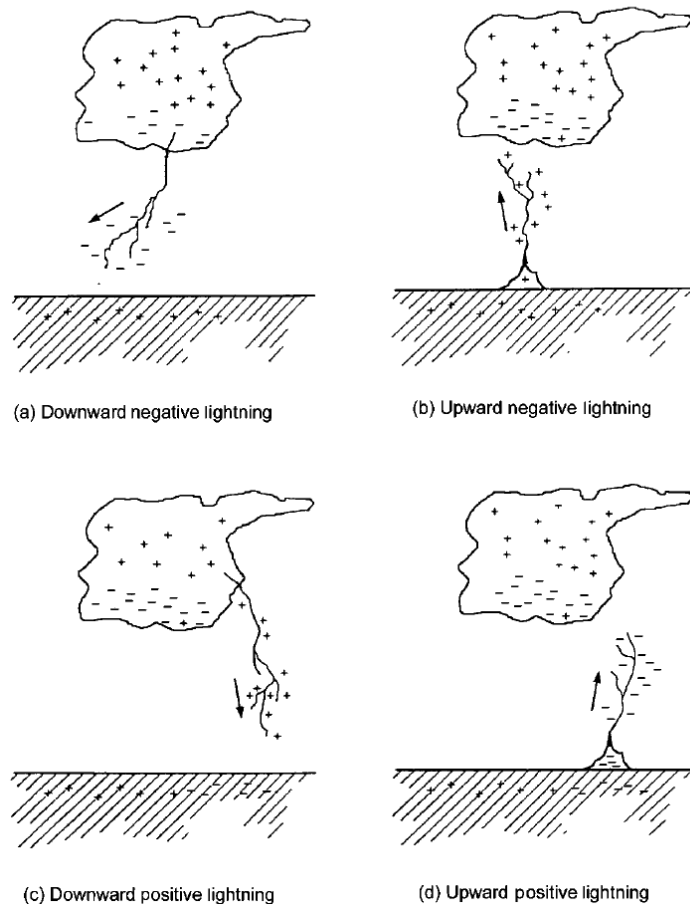
Quando líderes que vão em direções contrárias se encontram, formam um canal ionizado. Esse canal forma uma ponte entre as regiões de diferentes polaridades. Fica assim estabelecido um canal iônico com baixa resistividade elétrica e então ocorre uma descarga de retorno. As descargas de retorno possuem correntes muito elevadas, em média 30 kA para uma descarga negativa nuvem-solo, que é o tipo mais comum. É possível a ocorrência de várias descargas de retorno seguidas e em alguns casos mais raros, quando o intervalo entre elas é maior, esse fenômeno é perceptível a olho nu, de forma que a descarga atmosférica pisca algumas vezes no céu. As correntes elevadíssimas da descarga de retorno superaquecem o canal ionizado por onde elas passam, transformando-o em plasma

e reduzindo ainda mais a sua resistência. Isso faz com que ele irradie a luz intensa que podemos ver durante a descarga. Esse aquecimento também gera uma abrupta expansão de gases, produzindo um estrondo característico que conhecemos como o trovão.

A maior parte das descargas atmosféricas não envolvem o chão, apenas cerca de 25%. A maioria acontece dentro da nuvem ou entre nuvens. Em geral, chamamos uma descarga atmosférica entre uma nuvem e o chão de raio. Existem 4 tipos de raios dependendo dos seus tipos de líderes: o raio negativo descendente, o raio negativo ascendente, o raio positivo descendente e o raio positivo ascendente. A figura a seguir ilustra esses tipos de raios:

Figura 3- Tipos de raios

1.2. Types of lightning discharge and lightning terminology



Fonte: Rakov, 2003.

Os raios são mais frequentes nas nuvens do tipo cumulonimbus, que costumam ter bases a 1 a 2 quilômetros de altura e o topo pode chegar até 15 ou 20 quilômetros. Ainda existe mais de uma teoria sobre como exatamente ocorre o acúmulo de cargas dentro das nuvens, algumas falando de ionização por atrito com partículas da atmosfera, outras da movimentação vertical de gotículas de água eletricamente carregadas e até mesmo da influência de radiação cósmica vinda do espaço.

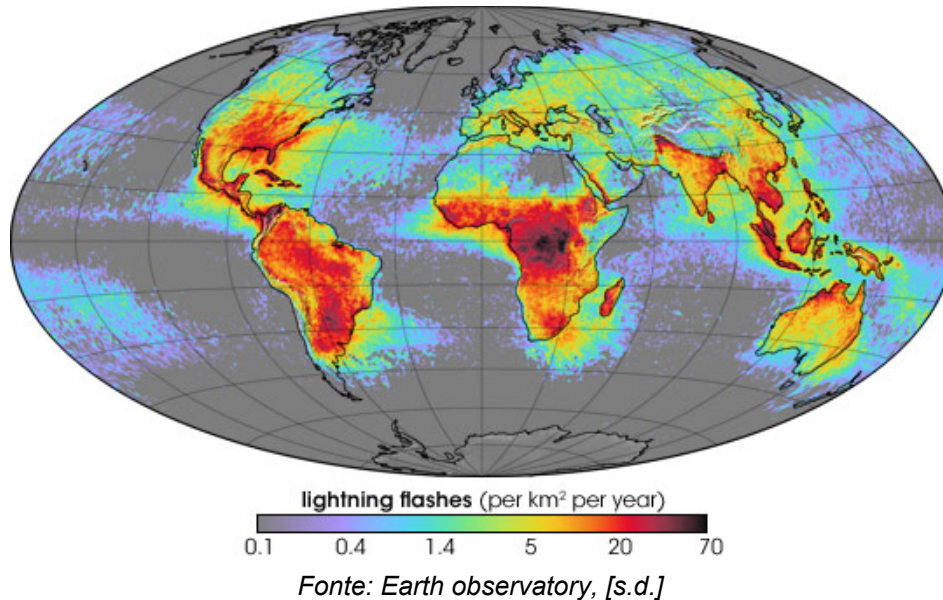
3.3 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NA ÁGUA

Como o trabalho trata de ambientes aquosos, devemos ver como se comportam as descargas atmosféricas nesses casos, começando pela frequência.

De acordo com observações feitas por satélites, as descargas acontecem mais frequentemente sobre a terra do que sobre a água e também têm maior frequência nas regiões próximas à linha do equador (ZAVISA, [s.d.]).

Mesmo as descargas que ocorrem sobre a água, ainda são mais frequentes em corpos de água nas proximidades da terra. Supõe-se que essa maior frequência perto do equador e sobre a terra se deve ao fato de que a terra absorve mais calor da luz solar, aumentando assim os eventos de convecção e geram maior instabilidade atmosférica que fazem parte da dinâmica das tempestades e descargas atmosféricas (EARTH OBSERVATORY, [s.d.]; STEVENS, [s.d.]). O mapa a seguir, obtido no site da NASA, mostra a incidência geográfica de raios baseada na observação por satélites. Lugares com ocorrência menor que 1 raio por ano estão marcados em cinza e lugares com ocorrência intensa de raios estão em vermelho e preto.

Figura 4- Incidência de raios pelo globo

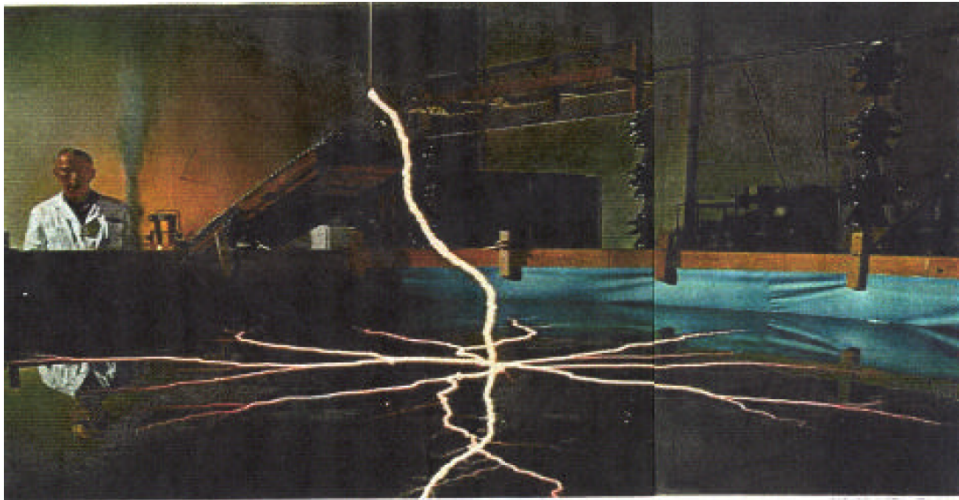


Agora, o que acontece quando ocorre uma descarga atmosférica na água? Como se comporta o fluxo da corrente? Podemos começar analisando os fenômenos observados. Tomamos os peixes como exemplo: quando ocorrem descargas atmosféricas em águas com peixes, notamos que geralmente não ocorre um grande morticínio. Isso se deve ao fato da corrente se propagar principalmente pela superfície da água devido ao efeito pelicular ou efeito skin (MOORE, [s.d.]).

Um fator que também contribui para isso é o acúmulo de cargas na superfície. No caso de uma descarga negativa nuvem água, a superfície da água estaria carregada positivamente, e então facilitaria o fluxo da corrente (MOORE, [s.d.]). Ainda é possível a morte de peixes quando ocorre uma descarga atmosférica, os peixes que estiverem próximos à superfície estão sujeitos a ferimentos, mas em geral as descargas não matam grandes números destes animais, já que eles geralmente se encontram a baixo da superfície. A figura a seguir ilustra um experimento realizado pela *University of Colorado* e publicado pela revista *National Geographic*, onde podemos ver uma descarga não penetrando o interior do corpo de água, e em vez disso espalhando-se com padrões dendríticos pela superfície da água.

Na próxima seção, após as propriedades dos diferentes meios aquáticos serem estudadas, retornamos ao conceito do efeito pelicular para uma análise matemática.

Figura 5- Descarga se propagando pela superfície da água



Fonte: Moore, [s.d.].

4. MEIOS AQUÁTICOS: CONCEITOS E EXEMPLOS

Como planejamos caracterizar os diversos efeitos dos choques elétricos em meios aquáticos, faz sentido que primeiramente nós definamos estes meios. Os meios aquáticos são bastante variados, e nesta seção iremos expor as suas diversas características.

4.1 O MEIO AQUÁTICO

Primeiramente devemos definir o conceito de meio aquático que será usado durante o estudo. Para o escopo do trabalho, não serão considerados meios aquáticos simplesmente ambientes molhados ou úmidos, empoçados ou com pequenos fluxos de água. Serão considerados meios aquáticos ambientes onde uma pessoa, que é o foco do estudo, possa ficar ao menos parcialmente submersa.

Assim, o foco do estudo não serão os acidentes comuns como pessoas eletrocutadas no chuveiro, ou técnicos eletrocutados durante chuvas e semelhantes. Nosso estudo envolve corpos de água mais volumosos. Estudaremos os acidentes ocorridos principalmente em lagos, rios, piscinas e mares.

4.2 TIPOS DE MEIOS E CARACTERÍSTICAS

Os diferentes ambientes aquáticos possuem variadas características. Eles não só apresentam diferentes características físico-químicas e geográficas como também apresentam riscos diferentes e diferentes condições de infraestrutura ao seu redor.

Algumas características dos diferentes tipos de água são especialmente importantes para as análises que serão realizadas. Uma delas é a quantidade de

sais e outras impurezas diluídas na água por volume. Chamamos este índice de TDS (Sólidos Totais Dissolvidos, do inglês *Total Dissolved Solids*). O TDS influencia uma das principais características que é de importância para este estudo, que é a condutividade elétrica da água.

A água, ao contrário da crença popular, por si só não é uma boa condutora de eletricidade. Podemos explicar isso pela estrutura molecular da água pura. A água pura tem a estrutura molecular de H_2O ou seja, dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio. Recordando-nos do conceito de química da regra do octeto, lembramos que para um átomo estar estável, ele busca ter 2 elétrons na sua camada de valência caso ele só tenha 1 nível de energia, ou 8 elétrons na sua camada de valência caso ele possua 2 ou mais níveis de energia. Como na molécula de água temos átomos de hidrogênio, que possuem apenas um nível de energia e apenas um elétron, e átomos de oxigênio, que possuem 6 elétrons na sua camada de valência, estes formam uma ligação covalente, onde os átomos compartilham um elétron a fim de completar a regra do octeto. Cada hidrogênio compartilha um elétron com o átomo de oxigênio, assim o oxigênio ganha os dois elétrons que precisava para atingir a estabilidade e cada hidrogênio ganha o único elétron que precisava para atingir a estabilidade. Assim, todos os três átomos da molécula estão estáveis eletricamente, não sendo assim suscetíveis nem a receber nem a doar elétrons extras.

Porém, isso é válido apenas para a água perfeitamente pura, a água com que nos deparamos no dia a dia é sim um bom condutor de eletricidade. Isto se deve ao TDS mencionado anteriormente. A água tem a característica de ser um excelente solvente, ganhando assim o título de solvente universal, e toda a água que encontramos no nosso dia a dia possui uma grande diversidade de impurezas dissolvidas no seu interior. A água somada a essas impurezas sim é uma boa condutora de eletricidade. Tomaremos como exemplo a molécula de $NaCl$, o cloreto de sódio ou sal de cozinha. Quando o sal é dissolvido em água, suas moléculas se separam nos íons Na^+ e Cl^- . Esses íons são excelentes condutores de eletricidade e quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos na água, maior será a condutividade da mesma. A maioria dos íons positivos dissolvidos na água são sódio, (Na^+) cálcio (Ca^{+2}), potássio (K^+) e magnésio (Mg^{+2}). A maior parte dos

íons negativamente carregados na água são cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), carbonato (CO_3^{2-}), e bicarbonato (HCO_3^-). Nitratos (NO_3^-) e fosfatos (PO_4^{3-}) são contribuidores menores para a condutividade, apesar de serem muito importantes biologicamente.

A condutividade da água (e outros materiais) é medida em Siemens (S), também conhecido por mho, assim nomeado por ser o inverso da resistência, que é nomeada de ohm (Ω). Sendo assim temos:

$$S = \Omega^{-1} = \frac{A}{V} \quad (1)$$

Onde A é a corrente em Amperes e V a tensão em volts. Contudo, condutividade da magnitude de 1S não ocorre na água. Para água usaremos condutividades da ordem de mili ou micro mhos por centímetro (CWT 2004).

Para o fim das análises que serão realizadas durante este trabalho, classificaremos os tipos de água em 3 grupos.

4.2.1 ÁGUA DOCE

A água doce é aquela comumente proveniente de lagos, lagoas, rios e riachos. Ela possui, comparativamente aos outros tipos, poucos sais e impurezas diluídos, ou TDS (sólidos totais dissolvidos). Mas, apesar disso, existem grandes variações relativas de TDS de uma fonte de água doce para outra. Como água doce é proveniente de várias fontes, podem existir diferentes quantidades e tipos de sais e partículas dissolvidas em seu meio. De uma água turva e empoçada às águas cristalinas de um riacho é fácil perceber a diferença de TDS, mas nem sempre a diferença é tão perceptível. Muitas vezes substâncias dissolvidas na água não alteram sua coloração ou transparência, o TDS da água é determinado por meio de testes laboratoriais.

Sabendo que a condutividade é proporcional à quantidade de íons dissolvidos na água, e que esta por sua vez é relacionada com a TDS, a tabela a seguir apresenta valores típicos de condutividade para água proveniente de fontes

variadas, tendo assim diferentes quantidades típicas de impurezas dissolvidas no seu interior. Os valores de condutividade serão sempre à temperatura de 25 graus Celsius a menos que seja informado o contrário.

Quadro 1- Condutividade por tipo de água

TIPO DA ÁGUA	CONDUTIVIDADE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Água destilada	0,5 a 3,0
Neve derretida	2 a 42
Água potável	30 a 1500
Água fresca de córregos e rios	100 a 2000
Águas residuais industriais	10000
Água salgada	40000 a 55000

Fontes: M. Farzaneh, 2004 ; Lenntech [s.d.] ; waterboards, 2004 ; Ulaby, 2007.

Vemos que podem haver em alguns casos grandes margens de variação de condutividade e, conseqüentemente, de TDS para diferentes tipos de água, refletindo a grande variedade de meios aquáticos que encontramos no planeta.

4.2.2 ÁGUA SALGADA

A água salgada é encontrada principalmente nos oceanos, mas existem outras fontes de água salgada espalhadas pelo mundo. Dentre elas encontramos os lagos salinos, como o Lago Salton, na falha de San Andreas, o Mar Morto, na fronteira de Israel, do Jordão e da Palestina e o Lago Mono, na Califórnia, que possui um dos ecossistemas mais ricos da América do Norte (WIKIPEDIA, [s.d]j, [s.d]h). Para a água salgada o conceito de TDS ainda se aplica, mas é mais comumente usado o termo de salinidade da água. Os valores de condutividade da água do mar tipicamente são em torno de 55000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mas estes variam de acordo com o nível de salinidade do local em questão. Quanto maior a salinidade, maior a condutividade devido a maior quantidade de íons dissolvidos na água.

4.2.3 PISCINAS

O último tipo a ser estudado serão as piscinas. As piscinas são um caso à parte, pois elas possuem várias características que as diferenciam das outras categorias estudadas. Sua localização por exemplo, é quase sempre em área habitada, com construções e instalações elétricas ao redor, assim, muito mais frequentemente, se faz uso de equipamentos conectados à rede de energia nas suas proximidades, o que aumenta o risco de acidentes. A qualidade da água também é diferente, pois varia caso a caso. A água de piscinas é quase sempre tratada, e existem diversos métodos de realização desse processo. Em geral as medições para a avaliação da qualidade da água de piscinas são feitas por meio de TDS.

4.2.3.1 PISCINAS DE ÁGUA DOCE

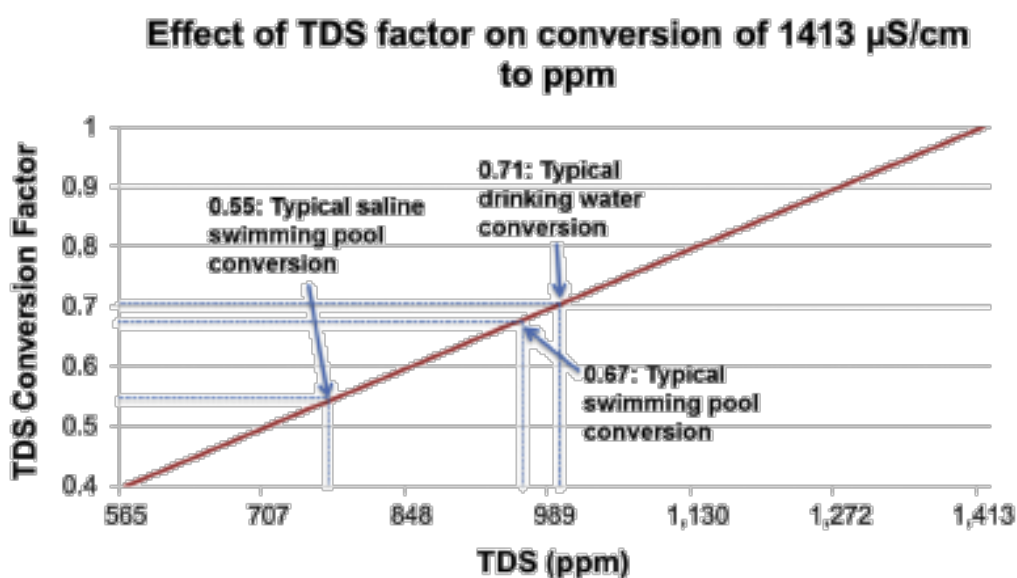
Existem várias recomendações diferentes por parte das empresas especializadas em tratamento de água de piscinas, algumas falam que o TDS máximo recomendável para piscinas de água doce é de 1500 ppm, outras falam de 2000 ou até mesmo 2500 ppm, mencionando que é possível a ocorrência de níveis mais altos de TDS com água ainda saudável, como 4000ppm ou 5000 ppm, mas que são exceções e, em geral, índices de TDS elevados podem produzir proliferação de algas, mal cheiro, gosto salgado e turbidez da água (POOLCENTER; EASYPOOLS; FJOLY; BLUE CACTUS POOL SERVICE; POOL WIZARD; PALINTEST, [s.d.]a, [s.d.]b; AMERICAN POOL ENTERPRISES; SALT WATER POOL AND SPA). Para determinar níveis padrão de TDS). O método típico de medir o TDS para água de piscina, envolve a medição da sua condutividade (em $\mu\text{S}/\text{cm}$) e multiplicação por um fator de correção. Esse fator de correção depende da natureza da amostra, visto que a relação de TDS com condutividade varia de acordo com as substâncias que se encontram dissolvidas na água, mas é normalmente escolhido como 0,67 para piscinas de água doce (EASYPOOLS; PALINTEST, [s.d.]b;

WALKER, 2004). Assim, com um TDS de 1500 ppm, teríamos uma condutividade da água de 2238,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2.3.2 PISCINAS DE ÁGUA SALGADA

Para piscinas de água salgada, o TDS é bem maior, devido ao fato de que o sal dissolvido na água também é matéria sólida. O valor de TDS em piscinas de água salgada varia tipicamente de 3000 a 6000 ppm (SALT WATER POOL AND SPA) -para comparação geralmente o TDS de água do mar é superior a 10000 ppm (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD)- e o fator de conversão para piscinas salinas é de 0,55 (PALINTEST, [s.d.]b) , já que a concentração de sal em relação a outros sólidos dissolvidos é maior que nas piscinas de água doce, e o sal dissolvido contribui mais para a condutividade do que outros elementos. Assim, a condutividade de uma piscina de água salgada com 6000 ppm seria de 10909,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quase 5 vezes maior que a de uma de água doce.

Figura 6- Fator de conversão de condutividade para TDS e valores típicos



Fonte: Palintest, [s.d.]a

4.3 ANÁLISE QUANTITATIVA DO EFEITO PELICULAR

Agora que já foram apresentadas as diferenças entre os diferentes tipos e meios aquáticos e também características importantes como as suas condutividades elétricas, retomamos o conceito de efeito pelicular apresentado na seção anterior para uma análise matemática, para que possamos assim melhor entender a relevância desse fenômeno e como ocorre a queda de tensão de acordo com a profundidade e a frequência.

A fim de mensurar e melhor entender este fenômeno, a seguir são calculadas as intensidades dos campos elétricos conforme varia a profundidade para várias frequências em meios de água doce e água salgada. Temos que:

$$\tilde{E}(z) = \hat{x} E_{x0} e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \quad (2)$$

Sendo $E(z)$ um campo elétrico se propagando na direção positiva de z , α sendo a constante de atenuação e β sendo a constante de fase. Temos que, para um bom condutor:

$$\alpha \approx \beta = \sqrt{(\pi f \mu \sigma)} \quad (3)$$

Com μ sendo a permeabilidade magnética do meio e σ sendo a condutividade. Então, para que tenhamos um bom condutor e isso seja válido, precisamos que:

$$\frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{\sigma}{\omega \epsilon} = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_r \epsilon_0} \quad (4)$$

Com ϵ_r sendo a permissividade do meio e ϵ_0 sendo a permissividade do vácuo. Assim conseguimos calcular a profundidade para a qual a amplitude do campo elétrico E vale uma determinada porcentagem do seu valor inicial na profundidade $z=0$. (Ulaby, 2007). Podemos então calcular a diminuição da intensidade do campo elétrico em PU (com a base sendo a tensão na superfície) com relação à profundidade em metros utilizando a expressão:

$$X = e^{-\alpha z} \quad (5)$$

Ou

$$z = \frac{\ln(X)}{-\alpha} \quad (6)$$

Onde X é a intensidade do campo e z a profundidade.

Foram realizadas simulações no MATLAB a partir dos conceitos descritos. As faixas de frequências foram escolhidas considerando componentes de frequência entre 1MHz e 10MHz que são as componentes de frequência mais relevantes para descargas atmosféricas (COORAY, 2015) e também frequências convencionais de 60Hz usadas no nosso dia a dia, além de levar em conta meios de água doce e salgada.

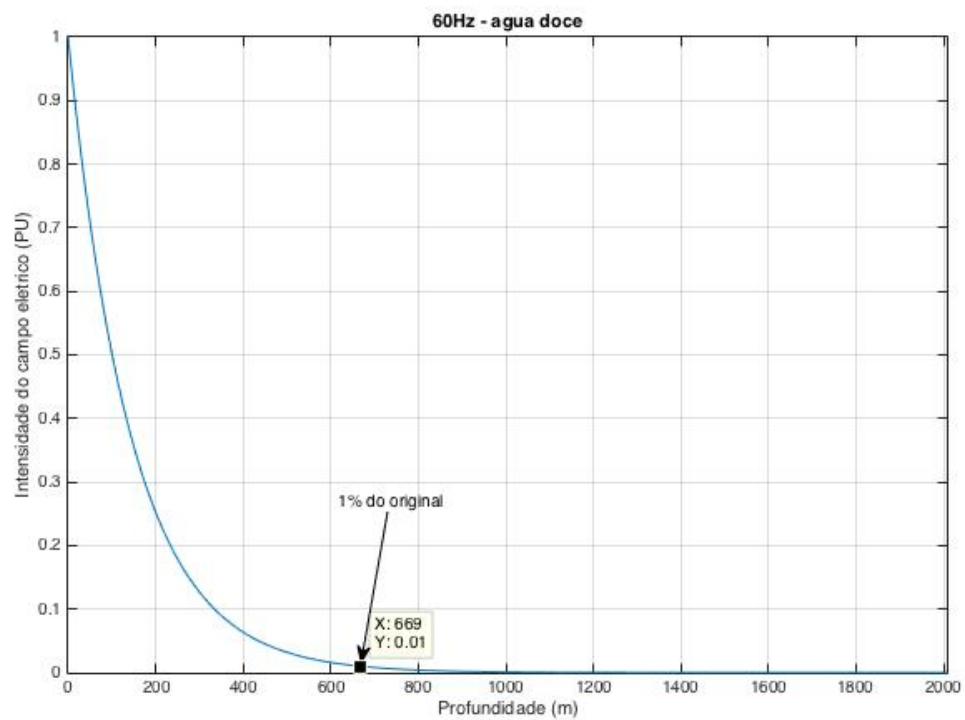
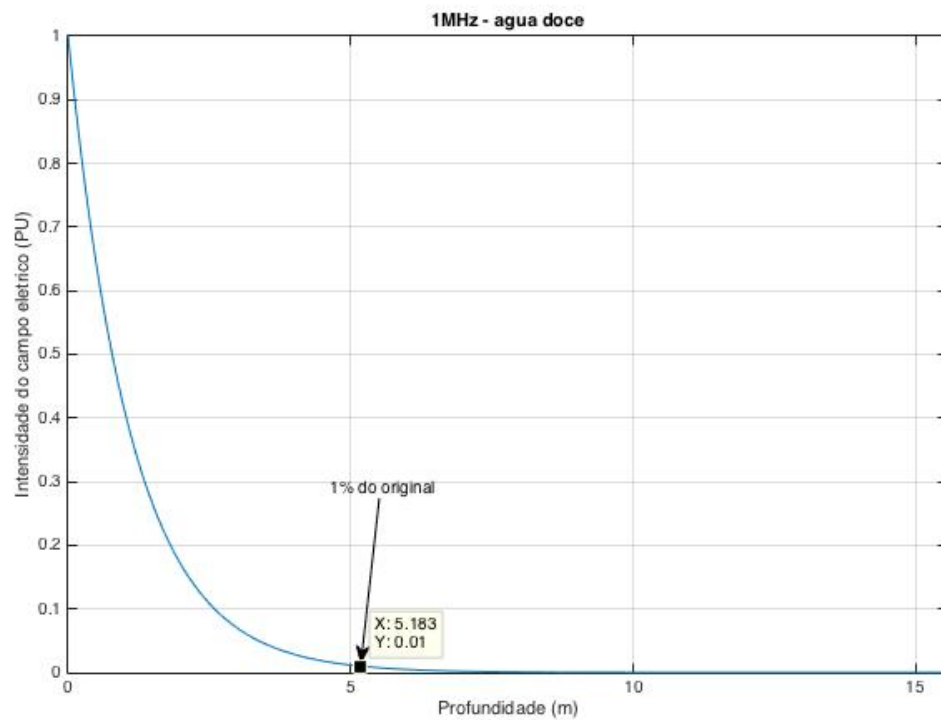
Gráfico 1- Penetração de campo elétrico na frequência de 60Hz na água doce**Gráfico 2-** Penetração de campo elétrico na frequência de 1MHz na água doce

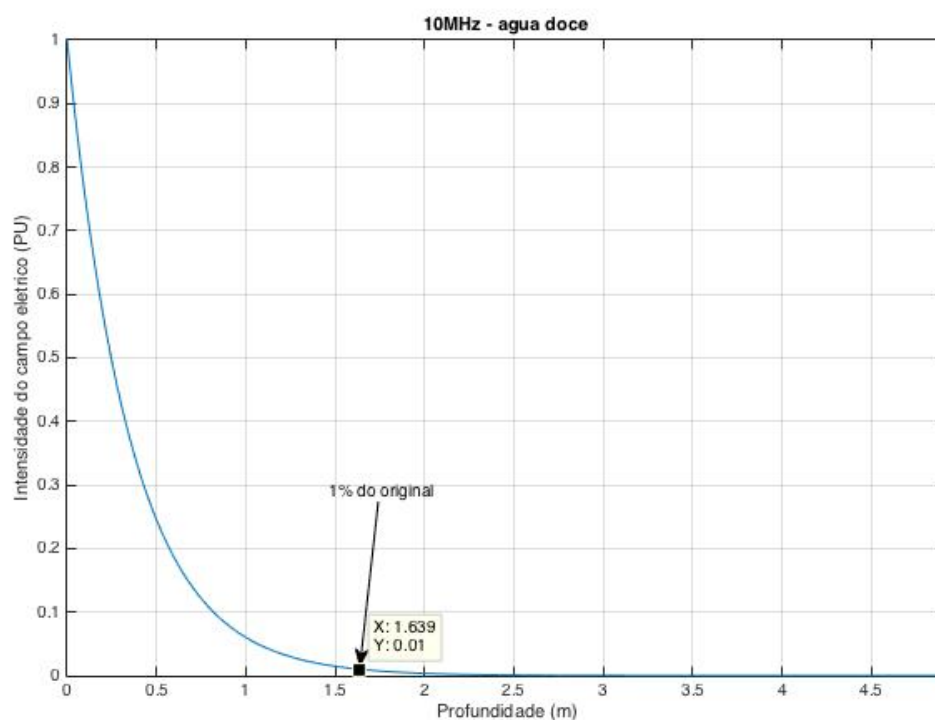
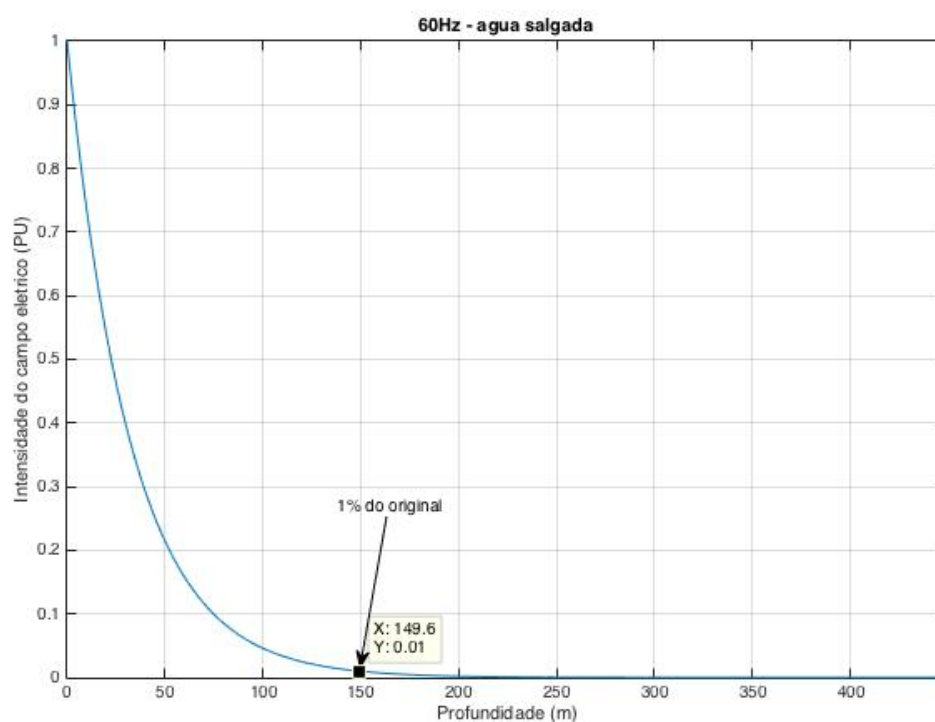
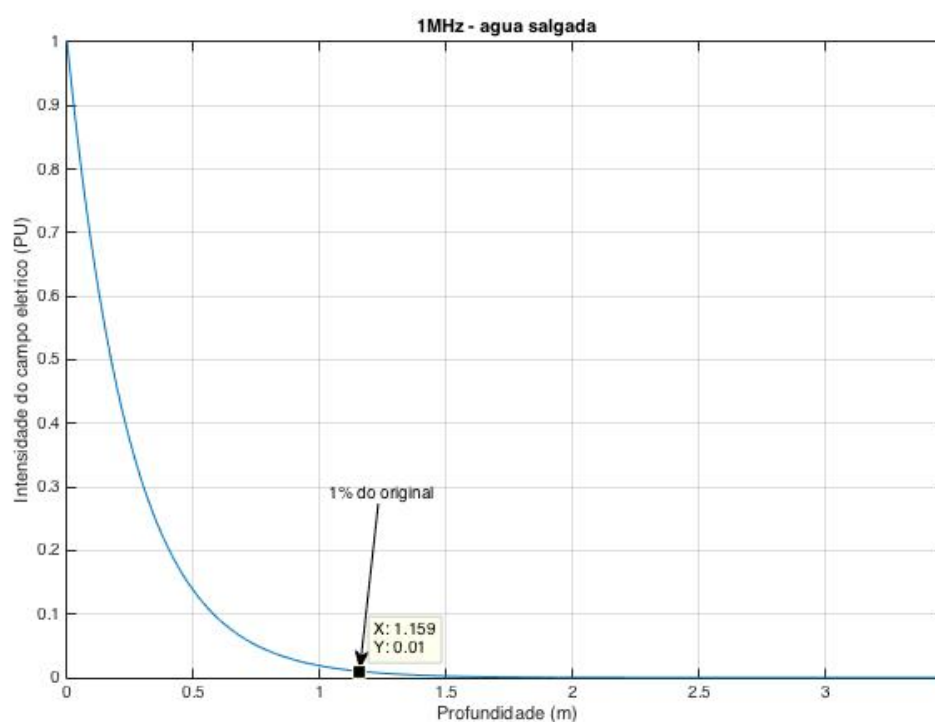
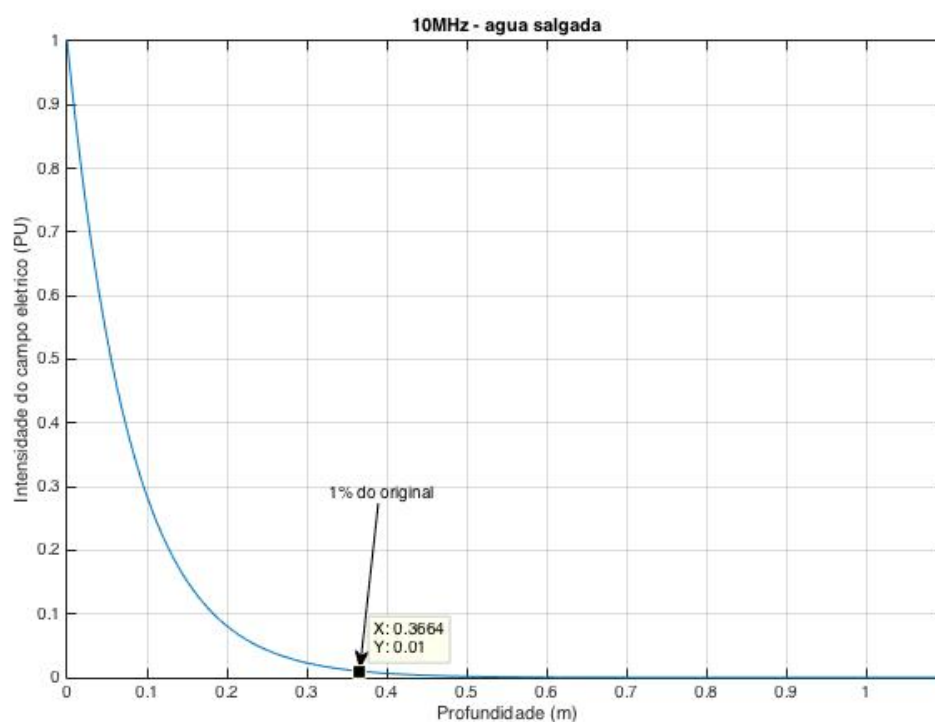
Gráfico 3- Penetração de campo elétrico na frequência de 10MHz na água doce**Gráfico 4-** Penetração de campo elétrico na frequência de 60Hz na água salgada

Gráfico 5- Penetração de campo elétrico na frequência de 1MHz na água salgada**Gráfico 6-** Penetração de campo elétrico na frequência de 10MHz na água salgada

Nos gráficos, para fins de comparação, foram destacados os pontos com as profundidades para as quais o campo vale apenas 1% do seu valor na superfície. Esses pontos são compilados na tabela a seguir para facilitar a visualização:

Quadro 2- Profundidade de penetração de campo elétrico para diferentes frequências em água doce e salgada

Frequência em Hertz e tipo do meio	Profundidade em metros para a qual o campo elétrico possui 1% da sua intensidade na superfície
60Hz – água doce	669,0756
1MHz – água doce	5,1826
10MHz – água doce	1,6389
60Hz – água salgada	149,6099
1MHz – água salgada	1,1589
10MHz – água salgada	0,3665

Podemos ver uma grande diferença nestes valores conforme variam a frequência e o meio em questão. Parra os casos de 60Hz, vemos que ainda temos valores significativos de campo elétrico em profundidades consideráveis, tanto em água doce quanto em água salgada, levando quase 150m na água salgada e 670m na água doce para chegarem a 1% do valor do campo na superfície. Estas são profundidades muito maiores do que seres humanos costumam frequentar, e também boa parte da vida aquática, fazendo com que correntes em frequências próximas a essa se mantenham perigosas até mesmo em profundidades relativamente elevadas.

Mesmo que para apenas reduzir a intensidade moderadamente, tendo por exemplo um campo de 50% do original, precisaríamos de 100,7m para o caso de água doce a 60Hz que é um dos mais perigosos.

Quando analisamos os casos de frequências mais elevadas porém, observamos um efeito pelicular muito mais pronunciado. No caso onde ele é mais notável entre os analisados, que é o caso de água salgada a 10MHz, vemos que em apenas 36cm de profundidade o valor do campo elétrico já cai para 1% do seu valor original. Isso significa que a vida aquática ou humanos mergulhando podem eventualmente

escapar de boa parte dos efeitos nocivos da corrente de uma descarga atmosférica, já que valores de profundidade como este são facilmente atingíveis. Vemos também que o efeito pelicular é consideravelmente mais intenso em meios mais condutivos, tendo como evidencia as profundidades que nos meios de água salgada são várias vezes menores que as dos meios de água doce para a mesma atenuação de campo elétrico.

5. ACIDENTES ENVOLVENDO ELETRICIDADE EM MEIOS AQUÁTICOS

Neste capítulo são descritos os aspectos relevantes de acidentes de natureza elétrica envolvendo meios aquáticos. Como acontecem, onde acontecem. Quais são suas causas, consequências e quais são os efeitos nas pessoas atingidas.

5.1 ACIDENTES COM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Quando tratamos de acidentes envolvendo instalações elétricas em meios aquosos, nós trabalhamos principalmente com 2 tipos de acidentes típicos. O acidente onde a vítima faz contato direto com um componente elétrico carregado enquanto está dentro d'água. Como por exemplo um banhista numa piscina, que encosta por acidente em um fio de uma churrasqueira elétrica com falha no isolamento que esteja próximo a borda da piscina. E o caso onde existe contato de uma fonte de tensão diretamente com a água, onde a água se torna eletricamente carregada e por tanto um perigo a todos os presentes em contato com a água. Também é necessário entender os tipos de danos causados a uma pessoa que sofre um acidente desta natureza para que haja uma compreensão completa deste tipo de acontecimento. Logo, nesta seção também serão explicados os efeitos do choque elétrico no corpo da vítima.

5.1.1 EFEITOS DAS CORRENTES ELÉTRICAS SOBRE OS TECIDOS BIOLÓGICOS

Um ser humano, ao entrar em contato com duas superfícies com potenciais elétricos diferentes irá conduzir eletricidade. A magnitude da corrente que percorrerá o corpo é proporcional à diferença de potencial entre os pontos de contato, e ela pode causar diversos efeitos nocivos para a saúde da vítima.

5.1.1.1 QUEIMADURAS E CHOQUES ELÉTRICOS

Algumas partes do corpo humano são naturalmente mais sensíveis à passagem de corrente elétrica do que outras, por isso, a rota que a corrente elétrica percorre pelo corpo é bastante relevante para determinar quais serão os danos sofridos. Células que usam impulsos elétricos para realizar as suas funções são particularmente vulneráveis a danos causados por correntes elétricas, como os neurônios, presentes no sistema nervoso. Os neurônios são fundamentais na regulação de diversas funções do corpo, e por meio de sinais elétricos controlam células musculares como as células cardíacas, responsáveis pela operação do coração, e as do diafragma, que é o principal músculo envolvido no ato da respiração. As células que recebem os estímulos dos neurônios por sua vez, também são sensíveis a correntes elétricas, então os choques elétricos apresentam perigo considerável, já que vários dos tecidos presentes no corpo humano, sensíveis a eletricidade, são imprescindíveis para o funcionamento do organismo. Essas células em conjunto são conhecidas como 'células eletricamente excitáveis' (HILLE, 2001).

O choque elétrico acontece quando uma parte da corrente elétrica passa pelas membranas de uma dessas células eletricamente excitáveis. Essa corrente pode causar ativação dessas células. Ela pode por exemplo ativar os músculos e neurônios envolvidos nos processos de respiração e cardíaco, mas nem sempre

danificam essas células (BIKSON, 2014). O comportamento errático destes tecidos porém pode causar outros problemas à saúde.

Correntes elétricas também aquecem os tecidos biológicos por meio do efeito Joule. As temperaturas elevadas podem facilmente causar danos às células, gerando assim queimaduras elétricas. Essas queimaduras podem danificar qualquer tipo de célula, não apenas as eletricamente excitáveis.

A corrente elétrica também pode causar eletroporação nas células. A eletroporação, também conhecida como eletropermeabilização, é um fenômeno onde, quando é aplicado um campo elétrico sobre as células, as propriedades das suas membranas celulares são alteradas, aumentando a sua permeabilidade. Isso faz com que elementos externos possam mais facilmente ser inseridos na célula, e é uma técnica com várias aplicações científicas, como permitir a inserção de produtos químicos, medicamentos ou DNA na célula (WIKIPEDIA, [s.d.]d), mas quando não controlado pode causar danos irreversíveis à célula (CHILBERT, 1998). Acredita-se que a eletroporação permanente das células acontece apenas em acidentes com correntes elevadas -maiores que 200mA- (REILLY, 1998).

5.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE CORRENTE

O tipo de corrente também tem diferentes implicações quanto aos danos causados. Apesar de no âmbito das queimaduras o aquecimento celular estar principalmente associado ao valor eficaz (ou RMS) da corrente e praticamente independe da sua forma de onda (BIKSON, 2014), os efeitos quanto a estimulação elétrica são altamente dependentes da forma de onda. Uma corrente AC de 60 Hz por exemplo, tem uma probabilidade muito maior de causar efeitos nocivos relacionados a choques elétricos do que uma corrente DC de mesmo valor RMS (BIKSON, 2014; REILLY, 1998).

Vários pesquisadores estudaram os diversos efeitos que as correntes podem ter sobre o corpo. De acordo com M. Bikson (2014), Dalziel e Lee (1968) encontraram que frequências de 10 a 400 Hz são as mais eficazes em provocar contrações involuntárias. DiMaio e DiMaio (2001) consideraram 39 a 150 Hz as

frequências mais letais. E Kugelberg (1976) encontrou que as frequências entre 12 e 60 Hz são as com maior probabilidade de causar fibrilação no coração humano.

Existem 2 fatores concorrentes que determinam o quão efetiva vai ser a estimulação das células em função da frequência. A primeira, é que as membranas das células se comportam como um filtro passa baixas, logo frequências muito elevadas vão ser pouco efetivas. A segunda é que a excitação elétrica ocorre durante os períodos de queda e ascensão do fluxo de corrente, assim uma maior frequência significa um maior número de excitações por tempo (BIKSON, 2014).

A quantidade de tempo a que a pessoa fica exposta à corrente elétrica também agrava os efeitos tanto das queimaduras e aumenta as chances dos problemas graves relacionados ao choque elétrico, como paradas cardíacas e respiratórias. Quanto menor o tempo de exposição a corrente elétrica, maior é a corrente necessária para induzir fibrilação ventricular (BIKSON, 2014).

5.1.1.3 FATORES DE SUSCEPTIBILIDADE E RESISTÊNCIA CORPORAL

Existem vários fatores que podem alterar a intensidade de um choque elétrico ainda tendo a mesma fonte de tensão elétrica. Pela lei de Ohm, temos que $V = R * I$. Assim, com a mesma tensão V , se a resistência total R variar a intensidade da corrente I também irá variar. Isso faz com que a resistência total seja crítica ao determinar a gravidade de um acidente envolvendo eletricidade. A geometria do contato do corpo com a fonte de tensão, o caminho que a corrente vai percorrer pelo corpo e condições como pele molhada ou com cortes e abrasões são todos fatores que alteram a resistência. A resistência varia de pessoa para pessoa, e além disso ela também varia de acordo com o tempo de exposição à corrente elétrica (BIKSON, 2014). A pele, dependendo de suas condições, pode ter níveis variados de isolamento elétrico. A pele tem uma resistividade de superfície (em $\Omega \cdot \text{cm}^2$) que pode variar desde 2000k $\Omega \cdot \text{cm}^2$ na pele grossa e seca de um trabalhador que pratica atividades manuais a apenas 100 $\Omega \cdot \text{cm}^2$ em uma pele molhada e fina (BIKSON, 2014). O valor da resistência de uma pele molhada pode

cair para apenas 1% do valor de quando a mesma está seca (BIKSON, 2014). M. Bikson (2014) analisa os resultados da resistência corporal em diferentes caminhos percorridos pela corrente no corpo obtidos por vários pesquisadores mas em suma, assumindo condições de pior caso possível (grande área de contato com a fonte de eletricidade e em ambiente molhado), a típica resistência corporal de um membro a outro do corpo é de pouco mais de 500 Ω . Em uma situação mais otimista, com pele seca e área de contato menor, a resistência corporal pode ser maior que 2000 Ω , mas nas situações encontradas no nosso estudo, as condições serão muito mais próximas da pior possível.

Ainda existem outros fatores que podem deixar um indivíduo mais ou menos suscetível aos efeitos do choque elétrico como a fibrilação ventricular. Massa corporal (REILLY, 1998; DALZIEL, 1968), estresse físico e consumo de álcool são todos fatores que podem alterar a suscetibilidade a esse tipo de complicação. Em (BIKSON, 2014) pode-se encontrar uma análise mais detalhada de como alguns destes fatores afetam os limiares de suscetibilidade.

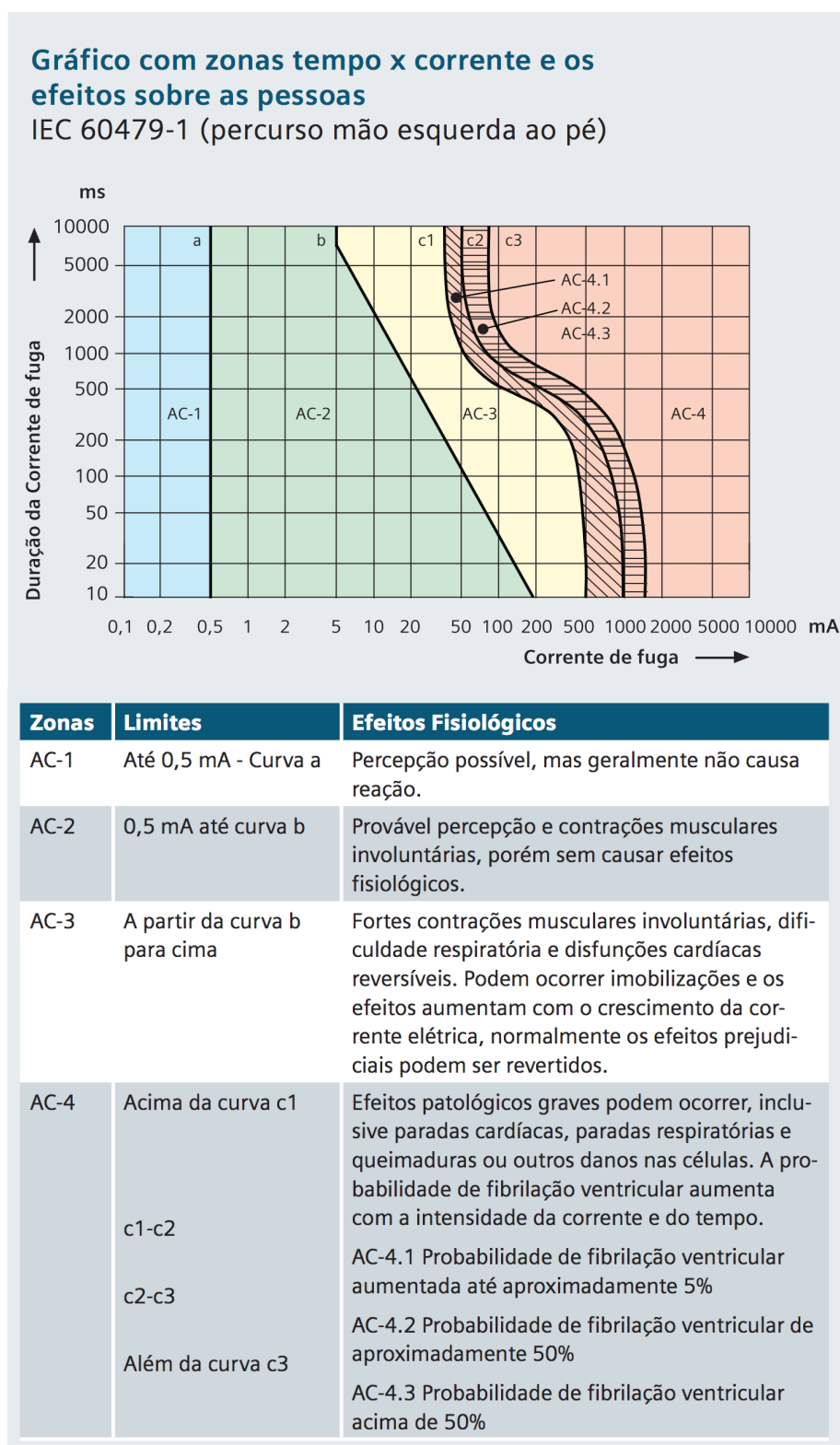
A seguir, encontra-se um quadro adaptado de (BIKSON, 2014) onde vemos quais os efeitos que diferentes níveis de tensão causam no corpo humano de acordo com os trabalhos de diferentes pesquisadores:

Quadro 3- Efeitos estimados de correntes transdérmicas AC de 60 Hz (corrente de pico, mA, contato com membros) por vários pesquisadores.

Fonte: adaptado de Bikson (2014).

	DHHS (1998)	Leibovici et al. (1995)	Bridges et al. (1985)	Camps et al. (1976)	DiMaio and DiMaio (2001)	Wright and Davis (1980)	Webster (1998)	Reilly (1998)
Quase imperceptível	1		0,5-2		1	1	0.7-2	
Sensação dolorosa		5						
Contração tetânica do músculo	22	15	8-28	8-13	15-17	22	8-31	8-25
Paralisa dos músculos respiratórios	28		20-40		50	28	25-31	25-31
Fibrilação ventricular	100	30-50	>70 (0,1s) 40-100 (∞)	70 (5s)	75-100 (>5s)	120 (0,1s)	75-400	807 (8.3ms)
Parada cardíaca / Danos aos órgãos internos	2000				1000	>2000	1000-6000	

Para comparação, na fibrilação ventricular, a maior parte das fontes (ADRIANCE, 2012), como o boletim sobre perigos elétricos divulgado pela The Ohio State University (GIOVINAZZO, 1987), e o próprio relatório do National Institute for Occupational Safety and Health (STOUT, 1998) -primeira coluna- citam que ela ocorre por volta de 100mA. A seguir, um gráfico da Siemens ilustra os efeitos de corrente pelo tempo de exposição:

Figura 13- Efeitos de uma corrente pela sua intensidade e duração

Fonte: Siemens, 2017

5.1.2 ACIDENTES ENVOLVENDO CONTATO DIRETO COM O ELETRODO

É de conhecimento popular o fato de que eletricidade e água são uma combinação desastrosa, mesmo assim, existem vários ambientes onde fontes de eletricidade se encontram nas proximidades da água. Seja o nadador desavisado, que acidentalmente encosta na instalação elétrica parcialmente desprotegida que corre por baixo de um píer ou doca, ou o banhista descuidado que ao tentar sair da piscina se envolve em um acidente como descrito acima, existem inúmeras oportunidades para acidentes desta natureza acontecerem.

Estes são os mais comuns dos tipos de acidentes a serem estudados, existem inúmeros casos de acidentes desta natureza em todo o mundo, e na seção 6 deste trabalho temos relatos de vários acidentes deste tipo aqui no Brasil.

Nestes acontecimentos, a gravidade do acidente depende de fatores como os explicados na seção anterior. As condições do acidente normalmente se assemelham às piores possíveis, visto que quase invariavelmente a pele do indivíduo estará molhada. Assim, o acidentado pode apresentar fibrilação ventricular, parada respiratória, queimaduras e quaisquer outras das complicações anteriormente descritas, dependendo geralmente de qual foi a tensão a que ele foi submetido, como foi feito o contato e a duração do contato. Existem condições que aumentam ainda mais a chance de óbito nestes acidentes, muitas vezes, se a pessoa inadvertidamente tenta se apoiar no objeto eletricamente carregado para sair da água, ela pode ficar presa a ele. A corrente elétrica, como foi dito anteriormente, pode causar a contração tetânica dos músculos, onde eles se contraem com toda a sua força disponível. Assim, nesse caso, a vítima se torna incapaz de se soltar da fonte do choque, aumentando o tempo de exposição e assim a chance de complicações graves como paradas cardiorrespiratórias.

Também é possível que a vítima perca a consciência mas não morra imediatamente. Se não for socorrida existe grande probabilidade de que morra

afogada. Nestes casos, é difícil o correto diagnóstico da causa da morte caso o choque não tenha causado queimaduras no ponto de contato, pois os sintomas mais aparentes da morte serão os de afogamento. Assim podem existir várias mortes relacionadas a este tipo de acidente que foram classificadas erroneamente como afogamentos regulares, por causa da impossibilidade de detecção das circunstâncias da morte.

Quanto aos tipos de meios aquáticos, esse tipo de acidente pode acontecer em qualquer um deles. Em lagos, rios e mares é possível, por exemplo, levar um choque ao encostar em uma parte metálica de uma embarcação que esteja carregada por causa de algum tipo de falha elétrica, como foi o caso de uma das vítimas dos relatos da seção 6. Mas o meio onde mais ocorrem esses tipos de acidentes são as piscinas.

Por estarem em geral muito mais próximas a construções com diversas instalações elétricas, e muitas vezes possuírem instalações elas mesmas, as piscinas tem muito mais proximidade a equipamentos elétricos que os outros meios, isso faz com que nelas existam mais oportunidades para que aconteçam estes acidentes, e como poderemos ver, a maior parte dos acidentes desse tipo se passam em piscinas.

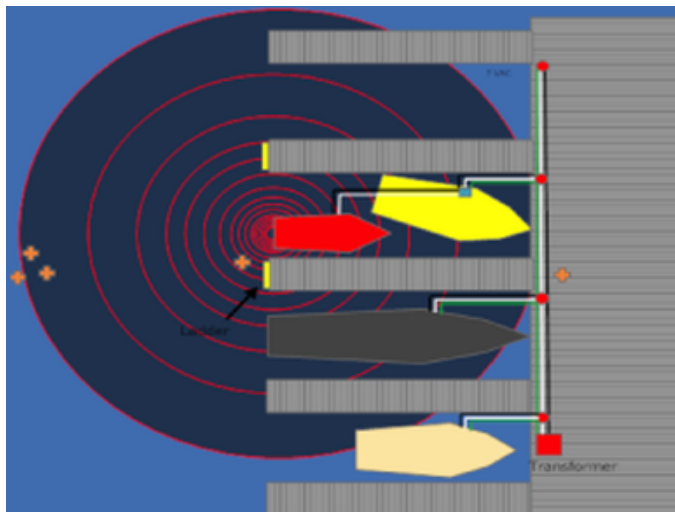
5.1.3 ACIDENTES SEM CONTATO DIRETO COM O ELETRODO

Estes são os acidentes onde a vítima entra em contato com uma corrente elétrica transmitida pela água que está em contato com um eletrodo desprotegido. Várias propriedades neste caso diferem de quando há contato direto com o eletrodo. Primeiramente, a intensidade da corrente que percorre o corpo da vítima será bem menor, já que parte da corrente passará pela água em torno da vítima que neste caso funciona como um circuito em paralelo. Assim, as complicações decorrentes de corrente mais elevadas mencionadas anteriormente são mais raras, requerendo uma tensão mais elevada para ocorrerem. Isso, porém, não torna esse tipo de acontecimento menos perigoso. Quase nunca existem indicativos visuais de que a água possa estar energizada, e o contato com a mesma ainda pode ser letal.

O afogamento por choque elétrico é muitas vezes um assassino silencioso e é a principal causa de mortes neste cenário. Ele é resultado da passagem de uma corrente alternada tipicamente não muito intensa, mas que ainda possua potência suficiente para causar paralisia muscular, fazendo com que a vítima não consiga se estabilizar e eventualmente resultando em afogamento (ELECTRIC SHOCK DROWNING PREVENTION ASSOCIATION). Corrente alternada pois o nosso sistema nervoso é muito mais sensível a este tipo de corrente, seria necessário um gradiente de tensão três ou quatro vezes mais intenso em DC do que o mínimo em AC para oferecer perigo (LEONARD, 2013). Níveis mais elevados de corrente ainda podem causar eletroplessão. O termo afogamento por choque elétrico acabou se tornando o termo geral para denominar todas as mortes sob estas condições nos Estados Unidos, incluindo as mortes onde efetivamente há fibrilação ventricular ou parada respiratória, pelo fato de neste tipo de acidente as mortes por afogamento serem mais comuns (ELECTRIC SHOCK DROWNING PREVENTION ASSOCIATION).

A água eletrizada possui um gradiente de tensão [Figura 14]. Quanto mais perto do centro, maior será a diferença de potencial por distância na água, e assim, maior será o perigo. Uma pessoa que se encontre no meio deste campo elétrico terá o seu corpo percorrido por uma corrente elétrica. Na maior parte das vezes, como foi dito, ela não é suficiente para causar fibrilação ventricular ou paradas respiratórias, porém pode causar paralisia ou contração muscular. Isso em um ambiente aquático pode ser desastroso, visto que nem mesmo os nadadores mais experientes conseguiriam controlar adequadamente os seus movimentos e assim, a vítima corre grave risco de se afogar, muitas vezes nem conseguindo pedir ajuda devido à paralisia.

Figura 14- Representação de um gradiente potencial na água proveniente de uma falha em uma embarcação



Fonte: Electric shock drowning prevention association

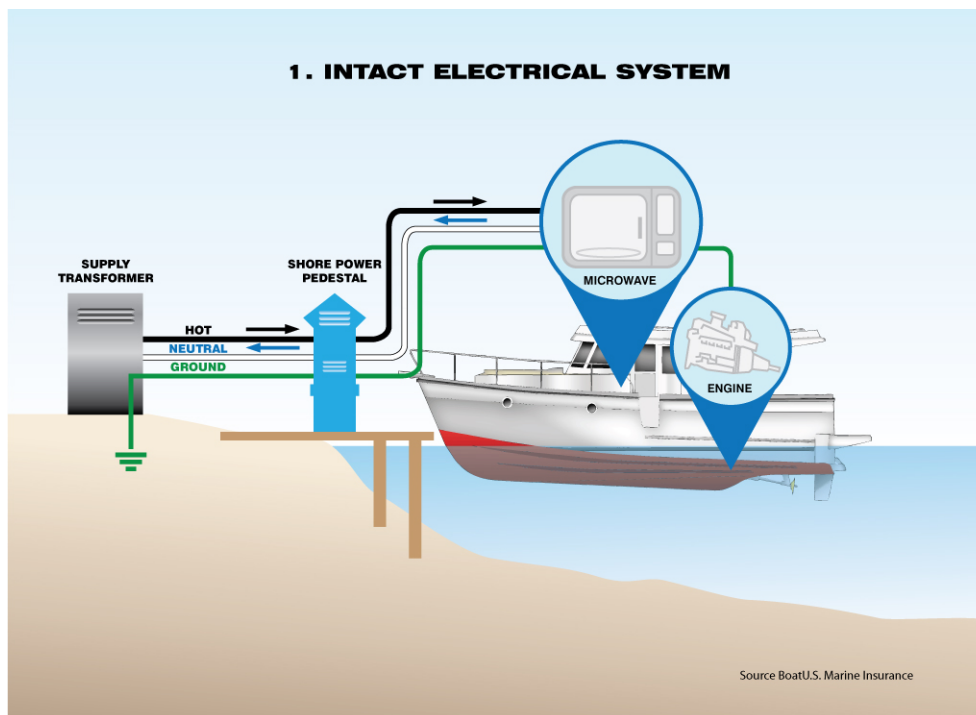
Infelizmente, a maior parte destes casos não são registrados. É rara a presença de queimaduras nestes acontecimentos, e como no caso do contato direto onde a vítima perde a consciência, a causa da morte é o afogamento, não existindo indícios quando realizada a perícia e a biópsia do corpo da real causa do acidente. Assim, devido às condições extremamente elusivas de detecção, as estatísticas sobre este tipo de acidente são extremamente limitadas.

Mas como acontecem esses acidentes? Quais são as fontes destes tipos de perigo? Para que a água acabe carregada são necessários três fatores (LEONARD, 2014):

- Uma falta elétrica. Deve existir em algum lugar próximo algum sistema ou equipamento com uma falha que permita o vazamento de corrente, que irá tentar retornar ao terra.
- Falha no sistema de aterramento. A corrente tipicamente voltaria ao terra, pelo sistema de aterramento que oferece uma baixa resistência, mas no caso de falha ela precisará percorrer outro caminho. No caso pela água.
- Sistema de proteção de falha ao terra ausente ou defeituoso. Caso o sistema de proteção esteja funcionando adequadamente ele irá detectar a discrepância de corrente e bloquear o fluxo de energia.

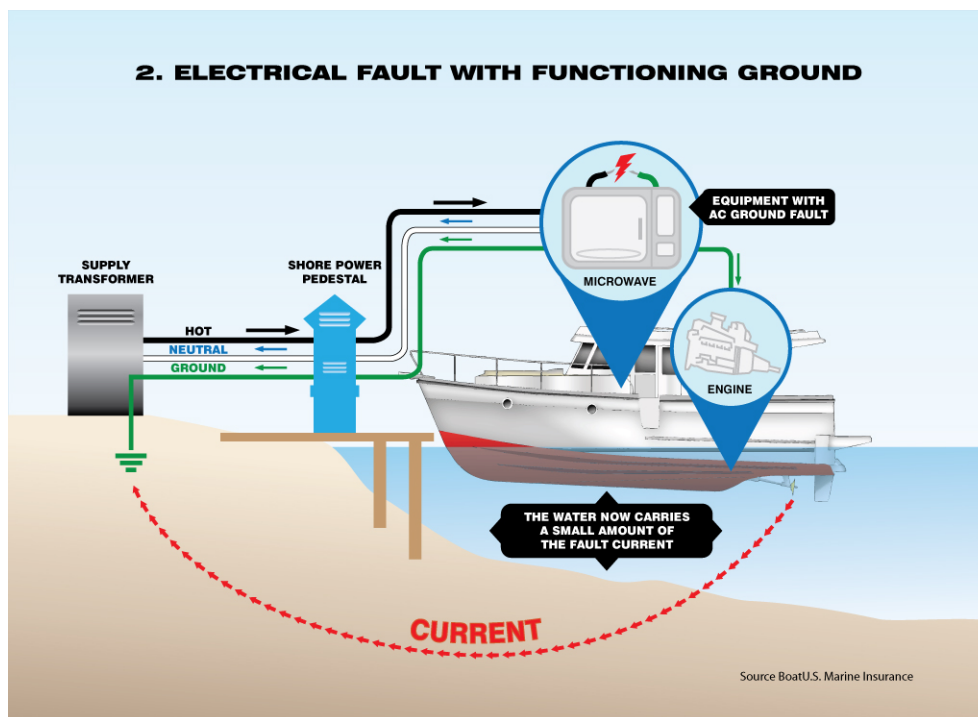
As imagens seguintes ilustram o que foi descrito acima:

Figura 15- Sistema elétrico intacto



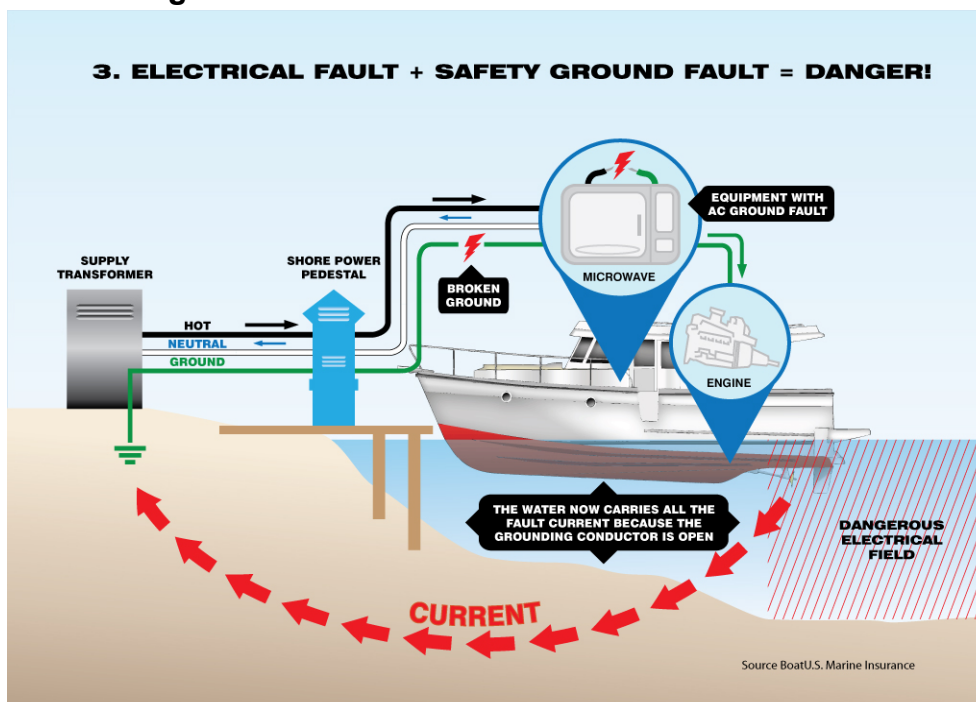
Fonte: Eletric shock drowning prevention association

Figura 16- Falta elétrica com aterramento funcional



Fonte: Eletric shock drowning prevention association

Figura 17- Falta elétrica com falha no aterramento



Fonte: Eletric shock drowning prevention association

Figura 18- Perigos em uma doca



Fonte: Dock Lifeguard

Se todas essas condições forem cumpridas, a corrente pode escapar por partes metálicas submersas da construção ou embarcação, passando assim para a água e criando um perigoso gradiente de tensão. Foi isso que aconteceu com Lucas Ritz em 1999: ele foi um dos casos mais raros e sofreu uma parada cardíaca devido à corrente. As autoridades insistiram que era um afogamento normal, mesmo com várias circunstâncias duvidosas e a real causa da morte não teria sido descoberta se não fosse pela insistência do seu pai Kevin Ritz, que por si só, foi investigar o acidente e descobriu um cabo de 120V, com a proteção derretida, em contato com a água, perto de onde ocorreu o incidente. Kevin desde então dedicou parte da sua vida a estudar e ajudar a prevenir casos de afogamento por choque elétrico como o que tomou a vida de seu filho.(Ritz, 2017).

Os afogamentos por choque elétrico desta natureza porém ocorrem quase exclusivamente em água doce, como lagos e piscinas. Como explicado anteriormente, a água doce possui uma condutividade muito menor que a água salgada, e a água salgada é ainda muito mais condutiva do que o corpo humano. Isso faz com que quando você está imerso em água salgada, a maior parte da corrente passe ao redor do seu corpo, pela água, como em um circuito em paralelo onde existe uma resistência razoável (o corpo) e várias resistências muito menores em volta (a água), formando uma espécie de gaiola de Faraday. Assim a corrente que passa pelo corpo seria extremamente reduzida quando comparamos com o caso de água doce, e seriam necessárias tensões muito elevadas para causar os mesmos tipos de danos.

5.1.4 MEDIDAS PREVENTIVAS E COMO PROCEDER EM CASOS DE ACIDENTE

Grande parte dos acidentes poderia ser evitada com o uso de equipamentos de proteção adequados, observação das medidas de segurança e bom senso. Nem sempre a vítima tem meios de evitar o acidente por si só, mas com instalações elétricas bem feitas e dispositivos de proteção, várias dessas tragédias não teriam ocorrido.

5.1.4.1 DISPOSITIVO DIFERENCIAL RESIDUAL (DR) E OUTROS DISPOSITIVOS

O Principal dispositivo de proteção que ajuda a impedir casos de choque provenientes de instalações elétricas é o dispositivo diferencial residual, mais conhecido como DR. Seu funcionamento se baseia na primeira lei de Kirchhoff, que diz que a soma das correntes que entra em um nó deve ser igual a soma das correntes que saem dele. Assim, o DR funciona monitorando as correntes de fase e neutro. Pela primeira lei de Kirchhoff, quando há diferença entre as correntes da fase e do neutro, isso deve significar que existe algum tipo de falha elétrica e existe corrente escapando por algum outro meio, seja pelo aterramento ou qualquer outro caminho. Assim, quando detectada essa discrepância de correntes, o DR abre o circuito e conseqüentemente corta a corrente. Os DRs têm alta sensibilidade e rápido tempo de resposta, podendo detectar discrepâncias de corrente menores que os valores necessários para ferir seres humanos e cortando a corrente em frações de segundo. Caso exista curiosidade sobre especificações técnicas em Siemens estão os dados de catálogo de alguns dispositivos DR da Siemens.

No Brasil o DR é uso obrigatório pela NBR 5410 onde estão dispostas as normas referentes às instalações elétricas de baixa tensão. Mas apesar disso, ainda hoje, muitas vezes a sua instalação é negligenciada. Aqui, em geral o DR é utilizado na forma de disjuntor (figura 13), e instalado no quadro elétrico, mas ainda existem várias instalações sem DR pelo Brasil apesar da sua obrigatoriedade, e infelizmente também são raras as fiscalizações desse tipo de recurso de segurança em vários locais, e também as punições para aqueles que não os têm funcionando.

Nos Estados Unidos o DR é mais comumente conhecido como GFCI (ground fault circuit interrupter) e além de estar disponível na forma de disjuntor, também está disponível na forma de tomada (figura 14), que é uma maneira prática e que poderia ajudar a popularizá-lo no Brasil. As leis quanto a sua utilização nos Estados Unidos variam por estado.

Figura 19- DR na forma de disjuntor

Fonte: Siemens, 2017

Figura 20- DR na forma de tomada

Fonte: Keygma, 2018

Existem também outros tipos de dispositivos de segurança que podem ajudar a evitar acidentes, como o testador de receptáculo (Figura 15), que pode indicar diferentes problemas no circuito e os aparelhos como o Lifeguard (Figura 16), projetado especificamente para segurança desses tipos de locais. Ao ser instalado em um píer ou doca, por exemplo, detecta se a água ou partes da construção estão eletrificadas, emitindo avisos visuais e sonoros em caso de perigo.

Figura 21- Testador de receptáculo



Fonte: Leonard, 2013.

Figura 22- Dispositivo Lifeguard



Fonte: Dock Lifeguard

Os dispositivos mostrados apesar de pouco utilizados tem grande aplicabilidade na prevenção de acidentes inclusive em ambientes residenciais.

5.1.4.2 COMO PROCEDER EM CASOS DE AFOGAMENTO E SUSPEITA DE CHOQUE ELÉTRICO

O primeiro passo é saber reconhecer as diferenças entre os afogamentos normais e os que envolvem choques elétricos. O local do ocorrido já pode contribuir para a desconfiança, caso existam fontes de eletricidade nas proximidades ou o ocorrido seja perto de uma embarcação, existe a possibilidade de choque elétrico. Quando uma pessoa está se afogando, seus movimentos tornam-se quase puramente instintivos, muitas vezes, não possuem ar suficiente nos pulmões para pedir ajuda, podem estar com olhos fechados e a cabeça inclinada para frente ou para trás e para olhos desavisados seus movimentos é possível até que se pareçam com movimentos brincalhões. Seus braços tipicamente se movem como se quisessem escalar uma escada e sua boca fica muito tempo próxima ou abaixo do nível da água. O processo de afogamento é muitas vezes silencioso e dura cerca de 60 segundos em adultos e 20 segundos em crianças. Caso esteja incerto se a pessoa está se afogando ou não, tente se comunicar com ela. Caso ela não consiga responder ela provavelmente precisa de ajuda (LEONARD, 2014).

Já as vítimas de choque elétrico podem sentir entorpecimento, formigação, dor e paralisia. Em geral parecem visivelmente angustiadas e dependendo dos efeitos da corrente, é possível que consigam gritar caso ainda não estejam no processo de afogamento propriamente dito. Se você estiver nadando e sentir algum dos efeitos descritos, nade para longe de docas e embarcações, já que são as principais fontes das falhas elétricas. Caso ocorra a eletroplessão pode simplesmente cair de frente ou de costas e ficar completamente sem reação. O quadro a seguir adaptado de Leonard (2014) expõe as características dos afogamentos.

Quadro 4- Características de tipos de afogamentos

Afogamento	Choque Elétrico	Eletroplessão
Vítima não consegue falar ou gritar	Sensação de entorpecimento, formigação, dor e ou paralisia	É possível que grite uma vez
“Escalada instintiva”	É possível conseguir falar ou gritar antes que os sintomas de afogamento normal comecem	Repentina parada de atividade
Pode parecer tranquilo ou brincalhão	Aparenta agonia e ou dor	Caso esteja usando colete salva-vidas, pode boiar de costas, com a face para fora d'água e não apresentar resposta.
Dura em média 60 segundos em adultos e 20 em crianças	Pode escalar para os comportamentos de afogamento regular quando água entra nos pulmões	Sem aparelho de flutuação provavelmente cairá com a face para dentro da água

Fonte: adaptado de Leonard, 2014.

Após reconhecer o tipo de acidente, é necessário saber o que fazer. Primeiramente, caso haja a suspeita de choque elétrico, **não entre na água** para tentar efetuar o resgate. É extremamente provável que em um caso como este, quem tentar efetuar o resgate também sucumba à eletricidade, aumentando assim o número de vítimas. Deve-se ligar para os serviços de emergência, procurar e desligar os disjuntores referentes à energia do local. Para efetuar o resgate recomenda-se: Estender a mão ou outros objetos longos para a vítima caso ela esteja suficientemente perto da borda. Caso ela esteja muito longe ou não consiga segurá-los jogue objetos flutuantes para a vítima ou tente resgatá-la com um bote ou barco. Deve-se remar, já que o uso do motor pode ferir gravemente a vítima com a hélice. Caso não haja eletricidade, ainda não é recomendado que se entre na água a menos que tenha treinamento, pois a vítima se debatendo pode te segurar instintivamente e empurrar para baixo tentando pegar apoio, e assim os dois correm risco de se afogar (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS; SOBRASA). Caso vá se executar o resgate mesmo assim, é recomendado que se aproxime da vítima por trás, para evitar a situação descrita.

Com a vítima fora da água recomenda-se chamar por alguém com treinamento em primeiros socorros. Deve-se checar por pulso e as vias aéreas. Caso não haja pulso, deve-se fazer massagem cardíaca até que os serviços de emergência cheguem. O uso de um desfibrilador automatizado (*automated external defibrillator*, AED) pode ajudar em caso de parada cardíaca, e esse modelo é feito para que até pessoas sem treinamento possam usá-lo (WIKIPEDIA, [s.d.]a).

5.2 ACIDENTES ENVOLVENDO DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Quando tratamos de descargas atmosféricas temos várias diferenças em relação aos outros tipos de acidentes. Primeiramente, são muito raras as descargas em piscinas, já que as descargas já são naturalmente mais raras sobre a água, e em geral tem-se muitos outros caminhos “preferências” para a descarga atmosférica tomar nas redondezas das piscinas.

As descargas atmosféricas também são responsáveis por causar ferimentos e a morte em água salgada. Mesmo com a água salgada apresentando resistividade muito menor que a água doce, as magnitudes elevadas de tensões e correntes presentes em descargas atmosféricas fazem com que ainda seja possível que o corpo de um banhista seja percorrido por correntes significativas mesmo em água salgada quando ocorre uma descarga atmosférica nas proximidades. Diferentemente dos peixes citados anteriormente, humanos geralmente quando estão nadando ficam na superfície da água, por onde corre a maior parte da corrente. O raio, quando cai nas proximidades ainda apresenta maior perigo em água doce, mas diferentemente das correntes de fuga pela água, também são extremamente perigosos em água salgada.

Outro ponto, é o risco de uma pessoa na água ser atingida diretamente por um raio. Sabemos que é comum a incidência de descargas atmosféricas no ponto mais alto de uma região, em parte pois o dielétrico a ser rompido dessa maneira é menor. Em geral, alguém na água que não esteja com equipamento de mergulho terá frequentemente parte do seu corpo para fora d'água, e em lugares não muito

fundos, que deem pé, ainda mais. Isso não é de forma alguma uma garantia que um raio que vá cair no corpo d'água vá atingir a pessoa, mas aumenta as possibilidades.

Os ferimentos causados por um acidente devido à descarga atmosférica podem variar desde os descritos nas outras seções até efeitos muito mais severos, devido as grandes magnitudes de tensão e corrente existentes nesse tipo de evento. A grande quantidade de calor produzida pela corrente pode causar severas queimaduras nos tecidos e danificar o pulmão. O tronco pode ser severamente danificado pela força da abrupta expansão de ar aquecido. Todos os efeitos antes descritos como fibrilação ventricular e parada respiratória ainda são possíveis, mas também existem danos mecânicos que podem ser causados. A onda de choque que causa o trovão pode causar por exemplo contusões e danos auditivos. Se as descargas já podem ser altamente letais quando ocorrem nas proximidades, quando uma pessoa é atingida diretamente a chance de sobrevivência é extremamente baixa.

Infelizmente não existem muitas medidas preventivas para evitar acidentes com descargas atmosféricas. O principal dispositivo que é usado na prevenção deste fenômeno é o para raios. O para raios normalmente protege a área ao seu redor da incidência de raios, atraindo-os para si mesmo e conduzindo a corrente até o sistema de aterramento para que ela não cause danos. Porém, no caso de meios aquáticos o seu uso é geralmente inviável. Ele deve ser instalado em lugares altos, geralmente no topo de construções, condições estas que não favorecem sua instalação nos ambientes típicos desses meios. A outra indicação de prevenção é sair da água imediatamente assim que se note a mudança de clima e procurar abrigo. Apesar de a incidência de raios ser mais rara na água, a corrente elétrica oferece perigos em uma área ao redor do raio muito maior na água do que no solo, devido à alta condutividade, fazendo com que uma descarga sobre a água seja perigosa até para pessoas relativamente distantes do ponto de impacto.

6. RELATOS

Nesta seção estão dispostos diversos relatos de acidentes em meios aquáticos envolvendo eletricidade. Aqui poderemos observar como realmente acontecem os fenômenos explicados nas outras seções, e observar como vários deles poderiam ser evitados. Aqui também notamos a predominância de casos de eletroplessão, onde a corrente é a causa direta da morte, isso pode ser explicado tanto por um maior número de casos quanto pelo difícil diagnóstico de um afogamento por choque elétrico, como foi explicado anteriormente. Iremos também comentar cada relato de acordo com os pontos apresentados neste trabalho.

6.1 ACIDENTES ENVOLVENDO CONTATO DIRETO COM O ELETRODO

1-Menino argentino morre eletrocutado em piscina de hotel

Do Diário do Grande ABC 15/01/2000 (DIARIO DO GRANDE ABC, 2000),

O garoto argentino Farid Assad, 7 anos, morreu ao receber uma descarga elétrica quando brincava na piscina do Eco Resort Praia do Forte, no município baiano de Mata de São João, na Região Metropolitana de Salvador.

Os pais da vítima disseram à polícia que o menino tocou em um fio descoberto, ligado à instalação de um refletor colocado nas proximidades da piscina. O acidente aconteceu por volta das 16h de sexta-feira, quando Farid se apoiou na borda da piscina para sair da água e, ao tomar impulso, sofreu a eletroplessão. As tentativas de reanimar o garoto foram em vão.

A polícia baiana abriu inquérito para apurar o caso, mas a direção do hotel se negou a falar sobre o acidente. [...].

Comentários: Aqui a causa foi a instalação precária somada à ausência de equipamentos de proteção, agravada pela proximidade com a água. A reportagem diz que ele morreu ao receber o choque, sugerindo parada cardiorrespiratória e não afogamento. Neste tipo de caso, o uso de massagem cardíaca até a chegada do

socorro muitas vezes é efetivo, assim como o uso de desfibriladores automatizados. Infelizmente estes ainda são muito raros na maior parte dos países.

2-Homem morre eletrocutado dentro de piscina de Itápolis

VIAEPTV Notícias. 01/03/2013 (VIA EPTV.COM, 2013),

-Vítima fazia limpeza da água com um motor que caiu na água.

Um homem de 34 anos morreu em Itápolis, na tarde desta quinta-feira, após levar um choque enquanto fazia limpeza em uma piscina. O caso ocorreu na Avenida Virgínia Falavigna Romanini, no Jardim Itauera II.

Segundo informações da Polícia Civil, a vítima utilizava um motor durante a limpeza e o equipamento caiu na água, por motivos desconhecidos. O homem recebeu uma forte descarga elétrica, já que segurava uma haste da máquina. Não se sabe se ele estava sozinho ou se havia mais alguém no local no momento da ocorrência.

Comentários: Temos poucas informações sobre o caso, mas podemos constatar pela notícia que o choque foi provavelmente provocado pelo contato com a máquina após cair na piscina com a mesma, já que pelo título ele foi encontrado dentro da piscina. Não temos informações suficientes porém para constatar se ele morreu por eletroplessão ou pelo possível afogamento decorrente, mas é mais provável a primeira pela forma com que a notícia foi dada.

3-Aposentado morre eletrocutado ao encostar em bomba durante pescaria

G1 Globo 16/03/2014 (G1 SUL DE MINAS, 2014),

Um aposentado de 64 anos morreu eletrocutado ao encostar em uma bomba de captação de água no momento em que pescava na Represa de Furnas, em Guapé (MG), na manhã deste sábado (15). Segundo testemunhas, Doeneval Porfírio das Graças pescava com um molinete quando entrou no lago para retirar o anzol que havia enroscado. No entanto, na hora em que ele se apoiou no flutuante que mantém a bomba, recebeu uma descarga elétrica.

Uma criança que estava com o aposentado na hora saiu em busca de socorro. O corpo dele ficou preso ao flutuante. Ao tentar retirar a vítima, algumas testemunhas também chegaram a receber a descarga elétrica. Conforme a polícia, uma das pessoas que tentava ajudar também ficou presa pela corrente

elétrica no flutuante e só conseguiu se soltar depois de uma pessoa cortar os fios da bomba.

Comentários: Aqui vemos que houve o fenômeno da contração involuntária dos músculos, quando vemos que uma das pessoas que foi prestar socorro ficou incapaz de se soltar do flutuador ao receber a descarga. Vemos também novamente o perigo de tentar resgatar uma vítima de choque na água na parte onde as pessoas que tentaram ajudar a vítima também receberam descargas elétricas. Esse incidente poderia facilmente ter tido mais vítimas, mas por sorte só houve um óbito.

4-Garoto de 13 anos morre eletrocutado em Santa Terezinha do Itaipu

O Globo, 29/12/2009 (PORTAL RPC, 2009),

Um garoto de 13 anos morreu eletrocutado no final da tarde nesta segunda-feira (28/12) enquanto nadava na estação de captação de água da Sanepar, em Santa Terezinha do Itaipu, no Oeste do Paraná. De acordo com a polícia, existem boias que ficam flutuando na represa e são utilizadas para a captação de água. O jovem Wesley Felipe Farias teria recebido a descarga elétrica quando encostou em um dos fios que ligam estes equipamentos de captação.

Segundo o tio do garoto, Juraci de Melo, há mais de 20 anos as pessoas aproveitam a represa para tomar banho. "O acesso é fácil e não tem portão ou grade para isolar a área de maior perigo", disse. Segundo ele, pescadores locais disseram que algumas pessoas já levaram choques enquanto nadavam no lago, mas nunca nestas proporções.

O delegado da Polícia Civil de Santa Terezinha do Itaipu, Herculano Augusto de Abreu, garantiu que nadar na represa é proibido. Mesmo assim, ele admitiu que muitas pessoas aproveitam o local para tomar banho. O delegado ainda informou que não se lembra de outra morte que já tenha ocorrido em função de descarga elétrica no lago.

Comentários: Mais um caso de choque por contato com o flutuador de uma bomba. Aqui vemos uma série de fatores que levaram ao acidente: Banhistas nadando em local proibido, polícia que sabia que essa prática era comum e não tomou providências, manutenção precária da instalação da bomba e flutuador e por último a imprudência de nadar até o flutuador da bomba.

5-É grave o estado de saúde de adolescente que levou choque no Lago Paranoá

Correio Brasiliense 20/04/2010 (CORREIO BRASILIENSE, 2010),

Mariana Pereira Silva, 16 anos, continua internada em estado grave no Hospital Regional da Asa Norte (HRAN) após ser eletrocutada ao nadar no Lago Paranoá no último sábado (24/4).

Segundo o namorado da adolescente, Roberto Pedrosa, de 24 anos, desde o dia do incidente a jovem passou por radiografias e exames que constataram uma forte infecção. Mariana está na Unidade de Terapia Intensiva (UTI), e tem 60% da respiração feita por aparelhos.

Incidente:

O casal passava o dia no Bay Park Resort Hotel, no SHTN, Trecho 2 e, por volta das 11h30, a garota resolveu nadar no Lago Paranoá. Ao se apoiar em um dos corrimãos que dava acesso a uma embarcação da empresa Ecolivre, ela levou um choque e desmaiou.

A descarga elétrica foi suficiente para provocar três paradas cardíacas na adolescente. Uma médica que estava no local prestou os primeiros socorros e, depois, os bombeiros encaminharam a vítima ao Hospital de Base do Distrito Federal (HBDF). Mais tarde, ela foi transferida para o HRAN, onde aguarda exames neurológicos.

Perícia:

No mesmo dia em que ocorreu o incidente, a embarcação foi lacrada e apreendida pela Marinha. Segundo o delegado-chefe da 5ª Delegacia de Polícia (Setor Bancário), Laércio Rosseto, no sábado uma perícia prévia comprovou que o corrimão estava energizado. "Voltamos com uma perícia especializada na segunda (26/4) e parece que um dos freezers da embarcação estava com problema na fiação elétrica, passando energia para todo o resto do barco", explicou o delegado.

O namorado de Mariana ficou desesperado ao ver a cena. "Chamei e ela não respondeu. Entrei na água, encostei nela e levei um choque. Depois a puxei de uma vez e ela caiu desmaiada sobre o meu ombro. Nadei, mas não tive forças para colocá-la sobre o deck. Então gritei por socorro", contou Pedrosa.

[...]

O barco, que tem capacidade para 40 pessoas, conta com o registro da Marinha do Brasil, vistoria e autorização para trabalhar com turismo. [...].

Comentários: Este é um caso no DF. Aqui vemos um exemplo de um dos casos mencionados anteriormente onde uma falha elétrica na embarcação pode energizar as suas partes metálicas. Um dos fatos que chama a atenção neste caso é que a embarcação estava com todas as vistorias e autorizações em dia. Isso significa que essa fiação danificada, ou em mal estado provavelmente passou despercebida

pela vistoria, mostrando o descuido ou inaptidão até mesmo das autoridades relevantes.

6-Adolescente morre no Sertão da PB vítima de descarga elétrica em clube

G1 Globo 15/07/2013 (G1 PB, 2013),

Um adolescente de 14 anos morreu vítima de descarga elétrica em um clube de lazer, neste domingo (14) em São José de Caiana, no Sertão paraibano. De acordo com a Polícia Militar, ele tomava banho em uma piscina quando teria segurado um fio elétrico próximo à área com água e sofreu o choque.

Conforme o relatório policial, pessoas que estavam no local socorreram a vítima e levaram o garoto para o Hospital Municipal de Itaporanga, mas ele não resistiu à gravidade dos ferimentos e acabou morrendo antes de receber atendimento. O rapaz morava na cidade de Serra Grande, no Vale do Piancó.

Segundo a polícia, o fio elétrico não estava desencapado mas estava ligado na energia, provocando o acidente. O corpo da vítima foi encaminhado para perícia no Núcleo de Medicina e Odontologia Legal (Numol) de Patos.

Comentários: Aqui, apesar do relatório da polícia, certamente houve algum tipo de falha na proteção do fio, caso contrário isso não teria acontecido. Também devemos notar a própria presença do fio próximo da água. É de conhecimento popular o perigo da proximidade da eletricidade com a água, mas nada foi feito.

7-Mulher morre com choque elétrico na represa em Conceição das Alagoas

Topuai.com 30/10/2017 (AFONSO, 2017),

Acionados pela equipe médica do Hospital João Henrique, em Conceição das Alagoas (MG), a Polícia Militar (PM) checkou à informação de que Michelle de Sousa Fernandes, 34, foi vítima de afogamento e chegou ao hospital, já sem vida com cianose central e periférica.

De acordo com a PM, familiares que estavam no hospital, contaram que a vítima estava na represa nadando e que ao tentar sair da água, a mesma segurou em um poste de energia como auxílio e este não teria suportado o peso e caído, eletrocutando-a na hora.

Foram informados ainda que imediatamente os familiares desligaram a energia do local e retiraram a vítima da água, colocando-a no veículo e se dirigindo o mais rápido possível para o hospital.

Demoraram em torno de 30 minutos para dar entrada no hospital; a equipe médica tentou reanima-la, porém sem êxito, devido ao longo tempo que ela encontrava-se desacordada.

O corpo permaneceu no hospital até ser removido pela equipe do Instituto Médico Legal (IML) de Uberaba. A vítima era de Uberlândia.

Comentários: Neste caso vemos um exemplo de afogamento que pode ocorrer após a pessoa ser debilitada por causa de um choque elétrico. Os familiares foram prudentes ao desligar a energia antes de efetuar o salvamento, se não tivessem feito isso o número de vítimas poderia ser maior.

6.2 ACIDENTES SEM CONTATO DIRETO COM A FONTE O ELETRODO

1- Parque aquático Turco: Crianças e adultos eletrocutados

BBC 23/06/2017. (BBC, 2017, tradução livre),

Mídia local reporta que três crianças e dois adultos que tentaram resgata-las foram eletrocutados em parque aquático no noroeste da Turquia. O incidente aconteceu na cidade de Akyazi, na província de Sakarya, 100 km ao leste de Istambul. O gerente do parque e o seu filho mergulharam na piscina para tentar ajudar as crianças. Os cinco, que são supostamente turcos, foram levados ao hospital mas não puderam ser salvos. Não se sabe como a piscina foi eletrificada. Socorristas e funcionários do parque drenaram a piscina e desligaram a eletricidade do estabelecimento. Investigações já estão em andamento. O jornal Hurriyet identificou o gerente como Mehmet Kaya, 58 anos, e seu filho Kadir Kaya, 30 anos.

Comentários: Neste caso podemos observar vários dos fatores antes vistos. Primeiramente, não sabemos se o gerente e seu filho estavam conscientes de que o que afligia as crianças era um choque elétrico, mas podemos ver as consequências desastrosas de tentar efetuar um resgate em água eletrificada. Como não foi mencionado, supomos que as piscinas são de água doce, que é a variedade mais comum e onde os choques elétricos são mais perigosos como explicado na seção 4. Também vemos que ainda não se sabe a origem da eletricidade, mostrando como pode ser difícil determinar a fonte do perigo. Assim como a maior parte dos

acidentes, um dispositivo DR poderia ter interrompido a energia ao detectar a fuga de corrente. Assim, supondo que o uso do DR também seja obrigatório na Turquia, vemos que aparentemente lá as inspeções de sistemas elétricos de estabelecimentos comerciais não são tão rigorosas, assim como em vários outros lugares do mundo, permitindo esse tipo de catástrofe.

2-Garoto de 12 anos morre vítima de descarga elétrica

Correio popular 08/12/2016 (PINHEIRO, 2016),

O garoto Jesrrel Barbosa, 12 anos, morreu vítima de descarga elétrica em sua residência - na rua Tamoios, bairro Parque das Estrelas, próximo a avenida Jacob -, por volta das 16h30 de quinta-feira.

De acordo com informações, a criança estava indo tomar banho e teria ligado errado a tomada das lâmpadas de LED que estavam na piscina, ainda segundo informações, Jesrrel pensou que tivesse ligado a tomada da hidromassagem.

A equipe do SAMU foi até o local e constatou que o garoto já estava em óbito, o corpo foi removido pelo IML cerca de duas horas depois, porque há notícias que o perito do ICRIM teria ido para uma ocorrência de assassinato na cidade de Estreito, por essa razão a demora.

Comentários: Aparentemente o choque ocorreu quando o garoto entrou na água que foi eletrizada após ele tentar ligar as luzes da piscina. Ao que parece, também pode ter sido uma corrente considerável. Foi dito que o menino acreditava ter ligado a hidromassagem por acidente, com corrente suficiente, é possível que a região do contato com a fonte de eletricidade estivesse tão quente que causasse borbulhação, o que pode ter gerado a confusão. Este caso sugere manutenção precária das instalações da piscina além da usual falta de equipamentos de proteção e pela forma como a notícia foi dada parece que se trata de mais um caso de eletroplessão.

3-Jovem morre afogado após receber uma descarga elétrica no Gaspar Mirim

Rádio Sentinela 4/07/2017 (RADIO SENTINELA DO VALE, 2017),

Na tarde desta terça-feira, 04, o jovem de Luciano Schnaider, de 25 anos morreu afogado após ser eletrocutado, quando estava

realizando a manutenção e uma lagoa de criação de peixes, do Pesqueiro Elpídio Schneider, que fica localizado em outro ponto da propriedade da família, quando um fio de energia elétrica se rompeu, vindo a cair na lagoa e o eletrocutando.

De acordo informações dos familiares, o acidente de trabalho, aconteceu por volta das 16h, Luciano chegou e ser socorrido pelo Corpo de Bombeiros de Gaspar, que encontrou o jovem já inconsciente e fora da lagoa tendo uma parada cardiorrespiratória. Durante o caminho para o hospital, os bombeiros realizaram manobras para reanima-lo, porém ele faleceu após dar entrada na casa de saúde.

Luciano era filho do empresário Elpídio Schneider, do Pesque Pague, localizado no bairro Gaspar Mirim. O corpo de Luciano foi levado ao IML de Blumenau e liberado para o velório aconteceu na Capela Mortuária Bom Pastor, com sepultamento às 16h, no Cemitério Municipal de Gaspar.

Comentários: Aqui temos um caso de afogamento por choque elétrico. Esse tipo de diagnóstico é raro, já que normalmente apenas os efeitos do afogamento são detectados, então a causa do acidente permanece oculta. Vemos aqui também uma certa confusão com relação as nomenclaturas utilizadas na reportagem, já que a eletrocussão é dada quando ocorre a morte em função a corrente elétrica, sendo que aparentemente a causa da morte foi o afogamento, e não o choque.

6.3 ACIDENTES ENVOLVENDO DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

1-Fotógrafo registra momento em que turista é atingida e morta por raio

G1 Globo 14/01/2014 (G1 SANTOS, 2014),

-Moradora de Ribeirão Pires morreu em Guarujá, no litoral de São Paulo.

Acidente foi registrado na segunda-feira (13), na praia da Enseada.

O momento em que uma turista de 36 anos é atingida por um raio em uma praia de Guarujá, no litoral de São Paulo, foi registrado por um fotógrafo no fim da tarde de segunda-feira (13). A mulher chegou a ser socorrida, mas morreu momentos depois da descarga elétrica.

[...]

Ela foi encaminhada a uma Unidade de Pronto Atendimento (UPA), mas morreu minutos depois da descarga elétrica.

O climatologista Rodolfo Bonafim explica que a região da Baixada Santista tem uma grande incidência de raios.

"[O problema piora] Principalmente nesta época, porque estamos em uma região úmida, no litoral, então existe muita umidade no ar, por causa do verão e da proximidade do mar. Obviamente, existe outro fator agravante, que é a questão ambiental provocada pelo aglomerado urbano das cidades, com muitos prédios e carros, o que faz com que a incidência de raios seja maior", destaca o climatologista.

De acordo com Bonafim, o raio deve ter caído diretamente sobre a mulher, e não incidiu sobre as pessoas próximas.

"O raio é pontual, mas quem estava em volta poderia ter sido atingido. Não tem como precisar, mas se acredita que o raio tenha atingido a mulher em cheio, devido à morte quase imediata. Se não fosse direto nela, a vítima poderia ter sofrido apenas uma lesão, que seria resolvida com massagem cardíaca", diz o climatologista.

Bonafim acredita, ainda, que devem ser criadas regras mais duras nas praias para prevenir esse tipo de fatalidade.

"Os avisos não estão sendo suficientes. As pessoas ficam tão ansiosas para ir à praia e não ouvem as recomendações de segurança. O ideal seria que o local fosse evacuado, que ficasse proibida a permanência ali durante um temporal com raios", alerta o especialista.

Em outra entrevista, o marido da vítima diz que ela estava indo justamente pedir para as crianças saírem da água por causa da tempestade, além disso outras pessoas foram afetadas pela descarga atmosférica:

[...]

Ao todo, 13 pessoas da família estavam na praia. Parte delas era de Ribeirão Pires. Os outros eram moradores do Paraná. Apenas o marido da vítima estava fora d'água. Além do casal, uma outra mulher também sentiu o raio. "Uma outra irmã nossa estava próxima. Ela ficou com um hematoma no olho. Meu cunhado Leandro levou um choque também", disse Biavati. "Eu não tenho nem o que falar. Foi uma fatalidade. Poderia ser eu, meu cunhado ou a própria criança que estava ali. Aconteceu com ela", lamenta o marido da vítima.

[...].

Comentários: Aqui podemos ver alguns dos possíveis ferimentos que raios podem causar. A vítima que foi atingida diretamente morreu na hora, mas outros que se encontravam próximos também foram afetados. Uma sofreu uma contusão, possivelmente pela onda de choque e o outro sofreu um choque elétrico, mesmo não tendo sido atingido diretamente. Isso demonstra como a intensidade da descarga atmosférica é superior à dos outros acidentes que tipicamente envolvem

instalações de baixa tensão, visto que esses ferimentos afetaram várias pessoas mesmo na água salgada, que por ser melhor condutora reduz a quantidade decorrente que passa pelo corpo humano quando comparada à água doce.

2-Ex-jogador belga morre atingido por raio enquanto surfava na Indonésia

Esporte, iG 07/11/2017 (IG SÃO PAULO, 2017),

Neste último domingo (5), Denis Andre Dasoul foi vítima de um incidente fatal na Indonésia. O ex-jogador de futebol estava de férias no país e enquanto fazia aulas para aprender a surfar, foi atingido por um raio . O belga estava dentro d'água na praia de Batu Bolong, em Canggu, na ilha de Bali, quando uma tempestade começou.

De acordo com a mídia balinesa e testemunhas presentes na praia, uma forte descarga elétrica atingiu toda a costa por volta das 14h15 do horário local. Além do ex-jogador , o instrutor que dava as aulas de surfe também teria sido atingido. Uma ambulância resgatou as duas vítimas e as encaminhou a um hospital próximo de Batu Bolong.

Aos 34 anos de idade, Denis Dasoul teria falecido a caminho do hospital e o instrutor, que não teve sua identidade revelada, sobreviveu com graves queimaduras na coxa.

Comentários: Mais um caso de descarga atmosférica no mar. Vemos que o raio foi de intensidade suficiente para além de matar uma das vítimas, causar queimaduras graves na outra, mesmo em água salgada. As queimaduras serem na coxa fazem sentido pois normalmente os surfistas estão sentados na prancha com as coxas em contato com a superfície da água, que é por onde corre a maior parte da corrente. Ainda observamos que em outras partes do mundo também não é difundida o suficiente a ideia de que durante tempestades é importante sair da água e procurar abrigo para evitar esse tipo de acidente.

3-Encontrado corpo do adolescente desaparecido depois de ser atingido por raio em Prado

ELAT, INPE 05/01/2009

O corpo do adolescente, Elivan Luiz Silva Rocha de 17 anos foi encontrado após ser atingido por um raio na praia em Prado, extremo sul da Bahia, no sábado (3). O cadáver, que foi todo queimado, já estava em decomposição próximo a barra na praia do Coqueiral em Prado. O corpo foi encaminhado para o Instituto Médico Legal (IML), na cidade vizinha de Itamarajú, onde acontecera o enterro marcado para às 14h. Segundo Sidney Oliveira, da Polícia Militar da cidade, o garoto estava no mar com um primo quando começou a tempestade com raios. O primo conseguiu sair da água, mas o adolescente não o acompanhou. Desde então, ele não foi mais encontrado.

Comentários: Este caso destaca a importância de não permanecer na água em caso de clima ruim. Não temos muitos detalhes sobre o que exatamente aconteceu com a vítima já que o seu corpo passou um tempo sem ser encontrado, assim não temos como saber os detalhes do acidente fora as queimaduras presentes no corpo quando encontrado.

4-Criança morre no litoral paranaense

ELAT, INPE 05/01/2009 18/02/2008

<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/noticias/boletim.php>

Vinícius Jesus Cardoso, de oito anos, foi atingido por um raio na tarde sexta-feira (15/2) na praia de Guaratuba, no litoral do Paraná. Ele estava no mar com irmão durante a chuva. Logo após um trovão, seguido de estremecimento, Vinícius ficou desacordado debruçado em sua prancha. Ele foi socorrido mas morreu antes de chegar no Pronto Socorro de Guaratuba.

Comentários: Vemos aqui um caso onde aparentemente não ocorreram queimaduras graves, destacando o potencial de raios também causarem os outros tipos de injúrias características de choque elétricos, como fibrilação ventricular e parada respiratória.

5-Morre policial atingido por raio no Lago Paranoá

R7 Notícias 12/01/2015

De acordo com o sítio R7 o policial militar estava pescando no Lago Paranoá com a família quando começou a chover. De acordo com Elaine Campos, irmã da vítima, enquanto o resto da família foi em direção ao carro, Hélio permaneceu dentro d'água, nas margens do lago para puxar um último peixe que estava na linha. Neste momento ele foi atingido por um raio. A família o retirou Hélio do lago, inconsciente e sem sinais vitais, e acionou o corpo de bombeiros, que chegou no local rapidamente e conseguiu reanimar a vítima por meio de massagem cardíaca. Hélio foi levado para o hospital de base, mas infelizmente não resistiu aos ferimentos e faleceu (R7.COM, 2015).

Comentários: Aqui tratamos de um acidente ocorrido no DF. Mais uma vez vemos que os acidentes envolvendo descargas atmosféricas nem sempre precisam causar graves queimaduras para serem letais, além da importância de se procurar abrigo durante trovoadas.

6.4 ACIDENTES COM CHOQUE POR FONTE DESCONHECIDA

Em alguns casos, não se sabe exatamente como o choque ocorreu ou as informações disponíveis são muito vagas. Este tipo de relato serve para mostrar como as situações podem nem sempre estar claras, e muitas vezes precisam de investigações adicionais para serem esclarecidas. A seguir seguem os relatos:

1-Zelador morre eletrocutado ao limpar piscina em condomínio de Ribeirão

G1 Globo 20/02/2015 (G1 RIBEIRAO E FRANCA, 2015),

-Vítima trabalhava com equipamento quando sofreu descarga elétrica.

Homem recebeu atendimento, mas não resistiu a parada cardiorrespiratória.

Um zelador de 49 anos morreu eletrocutado enquanto limpava a piscina de um condomínio em Ribeirão Preto (SP), na quinta-feira (19). Segundo o boletim de ocorrência, o suspeito sofreu uma parada cardiorrespiratória e os socorristas do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (Samu) não conseguiram reanimá-lo.

De acordo com o informações da Polícia Civil, o acidente ocorreu no residencial localizado próximo à Rodovia Prefeito Antonio Duarte Nogueira, no Jardim Florestan Fernandes.

A vítima utilizava equipamento elétrico no interior de uma piscina quando foi atingido pela descarga elétrica.

A vítima foi socorrida pelo Samu e levada para a Unidade Básica Distrital de Saúde (UBDS) da Vila Virgínia, onde tentaram reanimá-lo por cerca de 40 minutos, mas o zelador não resistiu. O corpo foi levado ao Instituto Médico Legal (IML) e o caso foi registrado como morte suspeita.

Comentários: Temos poucas informações sobre o equipamento que estava sendo utilizado. Não sabemos se ele era apropriado para o uso desta maneira, e no caso teria tido algum tipo de defeito, ou se foi um ato de imprudência deliberado do zelador. Também não podemos determinar se a fonte do choque foi o contato direto com o equipamento ou uma corrente que tenha escapado para a água. Em todo caso, temos mais um caso de eletroplessão e de provável ausência de dispositivos de proteção obrigatórios.

7. CONCLUSÃO

Desde os tempos ancestrais, o ser humano aprendeu a temer e respeitar a eletricidade, antes mesmo de compreendê-la. Os raios inspiraram religiões de diversas culturas devido ao seu poder de destruição sendo muitas vezes retratado como as armas de deuses e instrumentos de fúria divina.

A água também sempre teve papel central na história humana. Além de necessária para a manutenção da vida, é fonte de alimentos, por meio da pesca e agricultura, transporte, sendo as estradas naturais das embarcações, e até mesmo de energia, com as rodas d'água de antigamente e as hidrelétricas hoje em dia. Não é à toa que as maiores cidades e civilizações tiveram seus berços às margens de lagos, rios e mares.

Assim, não é de se estranhar que, eventualmente, com a popularização da eletricidade, a conexão destes dois fatores se tornasse comum. Desde tempos remotos os acidentes envolvendo raios e água já ocorriam, mas atualmente com a enorme difusão da energia elétrica essa combinação letal se torna muito mais frequente.

Para entender melhor este assunto, foram estudadas as propriedades das descargas atmosféricas, como o processo de formação de líderes e a sua propagação pela superfície da água, para melhor entendimento da análise dos acidentes que os envolvem. Estudamos então as características dos meios em questão, que separamos em água doce, água salgada e piscinas. Vimos as suas propriedades relevantes, como a resistividade elétrica e a frequência das fontes de eletricidade próximas de cada uma.

Por último, para compreender completamente os acidentes, precisamos entender como a eletricidade afeta o corpo humano, vendo os estudos de diversos autores sobre possíveis tipos de ferimentos e qual a relação deles com a variação de parâmetros da corrente que aflige a vítima. Vendo, por exemplo, a maior periculosidade da corrente alternada em comparação com a contínua, devido à sua maior capacidade de causar problemas, como a fibrilação ventricular.

Partimos, então, para o estudo dos acidentes propriamente ditos, que separamos em tipos para melhor explorar as suas diferentes características. Pelas

informações e relatos, podemos concluir que a maior parte dos acidentes registrados que envolvem instalações elétricas e meios aquáticos ocorre em piscinas. O motivo para tal é simples: é muito mais frequente a presença de equipamentos elétricos e fontes de eletricidade nas proximidades de piscinas do que em outros meios, como lagos e mares. Outro fator que contribui para a menor quantidade de casos registrados em outros meios líquidos é que a principal fatalidade relacionada a esse tipo de acidente é o afogamento por choque elétrico. Recentemente começou uma onda de conscientização sobre este tipo de perigo nos Estados Unidos. Isso só aconteceu recentemente, pois este é um acidente de difícil detecção. Caso não haja testemunhas que tenham ciência do real ocorrido, em geral se encontram vestígios de um afogamento regular, pois a corrente, nesse caso, apenas paralisa a vítima, a impedindo de nadar e, conseqüentemente, fazendo com que se afogue. Com a detecção deste tipo de acidente sendo tão elusiva, é difícil uma verdadeira estatística sobre esse tipo de morte, com a única certeza sendo que a sua frequência é certamente maior do que os registros oficiais mostram.

Mas isso não significa que devemos nos conformar com essa situação. Ainda existem muitas medidas que podem ser tomadas nesse aspecto. Além de poucas pesquisas na área, o nível de conscientização ainda é muito baixo. Em um diálogo informal com a perita criminal Juliana Guazzelli do Instituto de Criminalística da Polícia Civil do DF, ela afirmou que em geral, em casos de afogamento, a menos que haja fortes indícios, como o sinal de Jellineck (queimadura no ponto de entrada da corrente elétrica no corpo), não é considerada a hipótese de o óbito ter sido causado em decorrência de choque elétrico. Esse tipo de acidente raramente causa queimaduras, então normalmente a possibilidade de choque não chega a ser cogitada.

Chegamos então à análise dos acidentes envolvendo descargas atmosféricas. Vimos que apesar da sua incidência reduzida na água, quando comparada com a terra, a área ao redor do ponto de contato que oferece perigo é muito maior em meios aquáticos do que na terra; logo, esses ambientes não são mais seguros que o solo. Vimos também que, diferentemente das instalações elétricas de baixa tensão, mesmo não havendo contato direto de uma pessoa com o raio, ele pode ser perigoso em água salgada, que não consegue escoar toda a

corrente ao redor do corpo humano, devido à maior intensidade do fenômeno. Assim como afogamento por choque elétrico, a maior parte das pessoas ainda não tem consciência de que um acidente como esse também pode acontecer com elas ou seus familiares. Os métodos preventivos para esses casos ainda são limitados, devido à impraticidade dos para raios nos arredores de meios aquáticos que não sejam piscinas. Assim, até que novas tecnologias sejam desenvolvidas, a conscientização ainda é a melhor opção para reduzir o número desses acidentes.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Como se trata de um assunto extenso e de uma pesquisa exploratória, é possível estender e aprofundar o estudo em vários dos tópicos apresentados durante este trabalho.

- Podem ser feitas pesquisas quanto a melhores medidas de proteção contra acidentes envolvendo choques elétricos especificamente em ambientes aquáticos e também pesquisas para saber qual o real nível de preocupação e informação da população em geral sobre a segurança elétrica em torno da água.
- Complementar a simulação com uma análise do efeito pelicular em três dimensões, verificando assim, as atenuações ao longo do sentido de propagação.
- Pesquisas na área de estatísticas sobre os acidentes elétricos em meios aquáticos, visto que existe muito pouca especificidade nos dados consultados durante a elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIANCE, Bob. Raising Awareness About Electric Shock Drowning. **Seaworthy Magazine**, out. de 2012. Disponível em: <<http://www.boatus.com/seaworthy/magazine/2012/october/raising-awareness-about-electric-shock-drowning.asp>>. Acesso em: nov. de 2017.

AFONSO, Daniel. Mulher morre com choque elétrico na represa em Conceição das Alagoas. **Topuai.com**, out. de 2017. Disponível em: <<https://www.topuai.com/policia/mulher-morre-com-choque-eletrico-na-represa-em-conceicao-das-alagoas>>. Acesso em: nov. de 2017.

AMERICAN POOL ENTERPRISES. **Total Dissolved Solids**. Disponível em: <<http://americanpool.com/glossary/total-dissolved-solids/>>. Acesso em: nov. de 2017.

BBC. Turkish water park: Children and adults electrocuted. **BBC news**, jun. de 2017. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/world-europe-40388161>>. Acesso em: nov. de 2017.

BIKSON, Marom. A review of hazards associated with exposure to low voltages. **Low voltage electrocution**, New York, 2014.

BLUE CACTUS POOL SERVICE. **Total Dissolved Solids (TDS) in Swimming Pool Water**. Disponível em: <<http://www.bluecactuspoolservice.com/total-dissolved-solids.html>>. Acesso em: nov. de 2017.

CHILBERT, Michael A. High-Voltage and High-Current Injuries. In: REILLY, J. Patrick. **Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulation to Electropathology**, New York: Springer, 1998. p. 412-453.

CLEAN WATER TEAM. Electrical conductivity/salinity Fact Sheet. **The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment**, Sacramento, FS- 3.1.3.0(EC) Version 2.0, jul. de 2004. Disponível em: <https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130en.pdf>. Acesso em: nov. De 2017.

COORAY, Vernon. An Introduction to Lightning. **Springer** 2015.

CORREIO BRAZILIENSE. É grave o estado de saúde de adolescente que levou choque no Lago Paranoá. **Correio Braziliense**, mar. 2010. Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2010/04/27/interna_cidadesdf,>

189011/e-grave-o-estado-de-saude-de-adolescente-que-levou-choque-no-lago-paranoa.shtml>. Acesso em: nov. de 2017.

DALZIEL, Charles F.; LEE, W. R. Reevaluation of lethal electric currents. **IEEE Trans. Industry and General Applications**, vol. IGA-4, p. 467-476, 1968.

DIARIO DO GRANDE ABC. Menino argentino morre eletrocutado em piscina de hotel. **Diario do grande abc**, jan. de 2000. Disponível em: <<http://www.dgabc.com.br/Noticia/141691/menino-argentino-morre-eletrocutado-em-piscina-de-hotel>>. Acesso em: nov. de 2017.

DIMAIO, Dominick; DIMAIO, Vincent J. M. **Forensic Pathology**. 2 ed. Florida: CRC Press, 2001.

DOCK LIFEGUARD. **Dock lifeguard**: dock warning system. Disponível em: <<http://www.docklifeguard.org>>. Acesso em: nov. de 2017.

EARTH OBSERVATORY. **Patterns of lightning activity**. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=6679>>. Acesso em: nov. de 2017.

EASYPOLS. **Calibration and Measurement of TDS and Salt Levels Using Conductivity Pens and Meters**. Disponível em: <<http://www.easypools.com.au/pool-maintenance/169-calibration-and-measurement-of-tds-and-salt-levels-using-conductivity-pens-and-meters>>. Acesso em: nov. de 2017.

ELECTRIC SHOCK DROWNING PREVENTION ASSOCIATION . **ESD & FAQ**. Disponível em: <<http://www.electricshockdrowning.org/esd--faq.html>>. Acesso em: nov. de 2017.

M. FARZANEH. **Electrical properties of snow [relevant to power transmission insulation]**. The 17th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society, 2004. LEOS 2004.

FJOLY. **Total Dissolved Solids in Swimming Pools**. Disponível em: <<http://blog.intheswim.com/total-dissolved-solids-in-swimming-pools/>>. Acesso em: nov. de 2017.

G1 PB. Adolescente morre no Sertão da PB vítima de descarga elétrica em clube: Vítima estava na área da piscina quando pegou em fio de energia. **G1**, ago. de 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2013/07/adolescente-morre-no-sertao-da-pb-vitima-de-descarga-eletrica-em-clube.html>>. Acesso em: nov. de 2017.

G1 RIBEIRÃO E FRANCA. Zelador morre eletrocutado ao limpar piscina em condomínio de Ribeirão: Vítima trabalhava com equipamento quando sofreu descarga elétrica. **G1**, fev. de 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/ribeirao->

preto-franca/noticia/2015/02/zelador-morre-eletrocutado-ao-limpar-piscina-em-condominio-de-ribeirao.html>. Acesso em: nov. de 2017.

G1 SANTOS. Fotógrafo registra momento em que turista é atingida e morta por raio: Moradora de Ribeirão Pires morreu em Guarujá, no litoral de São Paulo. **G1**, jan. de 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2014/01/fotografo-registra-exato-momento-em-que-turista-e-atingida-e-morta-por-raio.html>>. Acesso em: nov. de 2017.

G1 SUL DE MINAS. Aposentado morre eletrocutado ao encostar em bomba durante pescaria: Caso aconteceu na manhã deste sábado na Represa de Furnas, em Guapé. **G1**, abr. de 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2014/03/aposentado-morre-eletrocutado-ao-encostar-em-bomba-durante-pescaria.html>>. Acesso em: nov. de 2017.

GIOVINAZZO, Paul. The Fatal Current. **New Jersey State Council of Electrical Contractors Associations, Inc. Bulletin**, vol. 2, n. 13, fev. de 1987. Disponível em: <https://www.physics.ohio-state.edu/~p616/safety/fatal_current.html>. Acesso em: nov. de 2017.

HILLE, Bertil. **Ion Channels of Excitable Membranes**. 3 ed. il. Massachusetts: Sinauer Associates, 2001.

IG SÃO PAULO. Ex-jogador belga morre atingido por raio enquanto surfava na Indonésia: Ex-atleta belga Denis Andre Dasoul morava na Austrália e havia ido passar férias com a namorada na Indonésia, onde estava aprendendo a surfar. **Esporte IG**, nov. de 2017. Disponível em: <<http://esporte.ig.com.br/futebol/internacional/2017-11-07/ex-jogador-denis-dasoul-morte.html>>. Acesso em: nov. de 2017.

Keygma, 20A Self Test Reset Electrical GFCI Outlet. Disponível em: <<http://keygma.manufacturer.globalsources.com/si/6008852697740/pdtl/Wall-power/1159436243/20A-Self-Test-Reset-Electrical-GFCI-Outlet.htm>>

KUGELBERG, J. Electrical Induction of ventricular fibrillation in the human heart: A study of excitability levels with alternating current of different frequencies. **Scand J Thorac Cardiovasc Surg.**, 10:237–240, 1976.

LEONARD, Beth. ESD Explained. **Seaworthy Magazine**, jul. de 2013. Disponível em: <<http://www.boatus.com/seaworthy/magazine/2013/july/electric-shock-drowning-explained.asp>>. Acesso em: nov. de 2017.

LENNTECH WATER TREATMENT SOLUTIONS. **Water conductivity. [s.d]**. Disponível em: <<https://www.lenntech.com/applications/ultrapure/conductivity/water-conductivity.htm>> Acesso em: nov. de 2017.

_____, Beth. ESD Or Drowning?. **Seaworthy Magazine**, jul. de 2014. Disponível em: <<http://www.boatus.com/seaworthy/magazine/2014/july/esd-or-drowning.asp>>. Acesso em: nov. de 2017.

LOPES, Rafael da Silva. **Descarga atmosférica em árvores e seus efeitos na vegetação**. [Distrito Federal] 2016. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

MENDES JR., O; DOMINGUES, M. O. Introdução à Eletrodinâmica Atmosférica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, volume 24, nº1, março.2002.

MOORE, C. B. ; RISON, Aulich; RISON William. **An Examination of Lightning-Strike-Grounding Physics**. Socorro: New Mexico Tech Langmuir Laboratory for Atmospheric, Research.

PALINTEST. **How test salt water pools**. [s.d.]a .Disponível em: <<https://www.palintest.com/en/support/research-insight/how-test-salt-water-pools>>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Measuring turbidity in swimming pools**. [s.d.]b. Disponível em: <<https://www.palintest.com/en/support/research-insight/measuring-turbidity-pools>>. Acesso em: nov. de 2017.

PINHEIRO, Antônio. Garoto de 12 anos morre vítima de descarga elétrica: Tragédia aconteceu no Parque das Estrelas. **Correiopopularitz**, dez. de 2016. Disponível em: <http://www.correiopopularitz.com.br/materia/3575/garoto_de_12_anos_morre_vitima_d_e_descarga_eletrica>. Acesso em: nov. de 2017.

POOL CORPORATION. **Total Dissolved Solids**. Disponível em: <<http://www.swimmingpool.com/maintenance/chemical-problems-and-solutions/total-dissolved-solids>>. Acesso em: nov. de 2017.

POOL WIZARD. **Total Dissolved Solids**. Disponível em: <http://www.havuz.org/pool_pool/pool_maintenance/water_testing/tds.htm>. Acesso em: nov. de 2017.

POOLCENTER. **Total Dissolved Solids**. Disponível em: <<http://www.poolcenter.com/totaldissolvedsolids>>. Acesso em: nov. de 2017.

PORTAL RPC. Garoto de 13 anos toma choque em estação de captação d'água e morre no Paraná. **O Globo**, dez de 2009. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/garoto-de-13-anos-toma-choque-em-estacao-de-captacao-dagua-morre-no-parana-3122085>>. Acesso em: nov. de 2017.

R7.COM. Morre policial atingido por raio no Lago Paranoá. **Notícias R7**, nov. de 2015. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/distrito-federal/df-no-ar/videos/morre-policial-atingido-por-raio-no-lago-paranoa-16112015>>. Acesso em: nov. de 2017.

RÁDIO SENTINELA DO VALE. Jovem morre afogado após receber uma descarga elétrica no Gaspar Mirim. **Radio sentinela**, ago. de 2017. Disponível em: <<http://www.radiosentinela.com.br/?jovem-morre-afogado-apos-receber-uma-descarga-eletrica-no-gaspar-mirim&ctd=21801>>. Acesso em: nov. de 2017.

RAKOV, Vladimir A. ; UMAN, Martin A. **Lightning: Physics and Effects**. Reino Unido: Cambridge University Press, 2003.

REILLY, J. Patrick. **Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulation to Electropathology**, New York: Springer, 1998.

RIGDEN, John S. *Macmillan Encyclopedia of Physics*. Simon & Schuster, 1996: 353.

RITZ, Kevin. **A Preventable Dockside Tragedy**. Disponível em: <<http://www.boatus.com/seaworthy/tragedy/default.asp>>. Acesso em: nov. de 2017

SALT WATER POOL AND SPA. **Salt Water Pool Maintenance**. Disponível em: <<http://www.saltwaterpoolandspa.com/salt-water-pool-maintenance.html>>. Acesso em: nov. de 2017.

SIEMENS. **Dispositivos DR 5SV, 5SM e 5SU**: Proteção contra correntes de fuga à terra em instalações elétricas. 2017. Disponível em: <<http://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/downloads-bt/Documents/Dispositivos%20DR/Catálogo/CatalogoDR-Junho2017.pdf>>. Acesso em: nov. de 2017.

SILVA, Elaine dos Santos. **A física dos relâmpagos e dos raios**. Trabalho de conclusão de curso. Brasília: Universidade Católica, 2007.

SOBRASA. **Sociedade Brasileira de Salvamento Aquático**. Disponível em: <<http://www.sobrasa.org/>>. Acesso em: nov. de 2017.

STEVENS, Joshua. **Global Lightning Activity**. Disponível em: <<https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=85600>>. Acesso em: nov. de 2017.

STOUT, Nancy A.; CASINI, Virgil; KISNER, Suzanne. National Institute for Occupational Safety and Health. **Worker deaths by eletrocution**: A Summary of NIOSH Surveillance and Investigative Findings. Cincinnati: Publications Dissemination, EID National Institute for Occupational Safety and Health ,1998. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/niosh/docs/98-131/pdfs/98-131.pdf>>. Acesso em: nov. de 2017.

TELLERIA, Mike. **Electric Shock Drowning Prevention**: How to prevent the tragic mix of dockside swimming and electricity. 2013. Disponível em: <<https://www.boatingmag.com/how-to/electric-shock-drowning-prevention?page=0,0>>. Acesso em: nov. de 2017.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **Answers to Frequently Asked Questions**. Disponível em:

<<http://www.twdb.texas.gov/innovativewater/desal/faqseawater.asp>>. Acesso em: nov. de 2017.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Reach, Throw, Row, Don't Go!**.

2011. Disponível em:

<https://www.army.mil/article/51402/reach_throw_row_dont_go>. Acesso em: nov. de 2017.

USHISTORY. **Electricity**. Disponível em:

<<http://www.ushistory.org/franklin/science/electricity.htm>>. Acesso em: nov. de 2017.

VIA EPTV.COM. Choque: Homem morre eletrocutado dentro de piscina de Itápolis.

Via EPTV.com, abr. de 2013. Disponível em:

<http://www.viaeptv.com/noticias/noticias_internaNOT.aspx?idnoticia=687407>. Acesso em: nov. de 2017.

VISACRO, S. F. **Descargas Atmosféricas: Uma Abordagem de Engenharia**. São Paulo, Artliber Editora, 2005.

WALKER, Ian. Using Conductivity Meters in Agriculture. **DPI&F notes**, Queensland, agdex 200/563, ago. de 2004. Disponível em:

<https://www.academia.edu/9038214/DPI_and_F_notes>. Acesso em: nov. de 2017.

WIKIPEDIA. **Automated external defibrillator**. [s.d.]a. Disponível em:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_external_defibrillator>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Benjamin Franklin**. [s.d.]b. Disponível em:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Dielectric strength**. [s.d.]c. Disponível em:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Dielectric_strength>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Eletroporação**. [s.d.]d. Disponível em:

<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletropora%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Kite experiment**. [s.d.]e. Disponível em:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Kite_experiment>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Leyden jar**. [s.d.]f. Disponível em:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Leyden_jar>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Lightning**. [s.d.]g. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Lightning>>.

Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Mono lake**. [s.d.]h. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Mono_Lake>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Residual current device**. [s.d.]i. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Residual-current_device>. Acesso em: nov. de 2017.

_____. **Salt lake**. [s.d.]j. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Salt_lake>.
Acesso em: nov. de 2017.

ZAVISA. John. **How Lightning Works**. Disponível em:
<<https://science.howstuffworks.com/nature/natural-disasters/lightning3.html>>. Acesso em: nov. de 2017.

BILBIOGRAFIA COMPLEMENTAR

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho Científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2 ed. Rio Grande do Sul: Universidade FEEVALE, 2013. 277 p.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23 ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez editora, 2007. 304 p.

WIKIPEDIA. **Exploratory research**. Disponível em:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Exploratory_research>. Acesso em: nov. de 2017.